

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

BMU-Studie „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“

(Laufzeit: 01.10.2009-31.12.2011)

Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Hans-Peter Beck, Lutz Hofmann, Karsten Runge,
Hartmut Weyer, Wolfgang Dietze

Band 4.1

 Cuvillier Verlag Göttingen



Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (efzn)

Band 4.1





BMU-Studie

„Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“

(03MAP189 Laufzeit: 01.10.2009-31.12.2011)

Band 1

Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Auftraggeber:

**Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicher-
heit**

**Referat KI III 3
Stresemannstr. 128-130
10117 Berlin**

Auftragnehmer:

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Am Stollen 19A
38640 Goslar

Unterauftragnehmer:



OECOS GmbH
Bellmannstraße 36
22607 Hamburg



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

978-3-95404-023-0

Die vollständige Studie können Sie auch unter folgendem Link einsehen:

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:104-2012eb1370>

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-023-0



Auftraggeber:		
	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	Referat KI III 3 Stresemannstr. 128-130 10117 Berlin
Auftragnehmer:		
 Energie-Forschungszentrum Niedersachsen	Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) <u>Projektleiter:</u> Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck <u>Projektkoordination:</u> Ass. jur. Wolfgang Dietze	Am Stollen 19A 38640 Goslar
Forschungsstellen:		
	Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik Leibniz Universität Hannover <u>Bearbeiter:</u> Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann; Dipl.-Ing. M. Mohrman; Dipl.-Ing. C. Rathke	Appelstraße 9a 30167 Hannover
	Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierrecht der Technischen Universität Clausthal <u>Bearbeiter:</u> Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer; Ass.jur. Diana Schneider	Arnold-Sommerfeld-Straße 6 38678 Clausthal-Zellerfeld
	Lehrstuhl für Öffentliches Recht, insbesondere Verwaltungsrecht der Georg-August-Universität Göttingen <u>Bearbeiter:</u> Prof. Dr. jur. Thomas Mann	Platz der Göttinger Sieben 6, 37073 Göttingen
Unterauftragnehmer:		
	OECOS GmbH <u>Bearbeiter:</u> apl. Prof. Dr. Karsten Runge; ; Dipl. Geogr. Philipp Meister; Dipl. Geogr. Elena Rottgardt	Bellmannstraße 36 22607 Hamburg





Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Ziel der Studie	1
2. Methodisches Vorgehen	3
3. Kurzfassung der Ergebnisse	5
4. Fazit	17
5. Anhang	18





1. Hintergrund und Ziel der Studie

Aufgrund der wachsenden Einspeisung von Strom aus der Windenergienutzung und anderen erneuerbaren Energien sowie neuer fossiler Kraftwerke an der Küste, aber auch aufgrund des steigenden Stromhandelsvolumens, müssen die deutschen Stromnetze und insbesondere das deutsche Höchstspannungsnetz (220- und 380-kV-Ebene) an die Veränderung der Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen angepasst und ausgebaut werden.

Die dena I- und die dena II-Studien sehen bis 2015 bzw. bis 2020 einen erheblichen notwendigen Ausbaubedarf des deutschen Höchstspannungsnetzes, der bis 2015 850km und bis 2020 je nach Übertragungstechnologie zwischen 1500 und 3600km beträgt. Relevant für den realen Ausbau der Höchstspannungsnetze ist allerdings der Netzentwicklungsplan, den die Übertragungsnetzbetreiber bis März 2012 bei der Bundesnetzagentur einreichen müssen. Die Übertragungsnetzbetreiber planen den Netzausbau im Wesentlichen in Form von neuen 380-kV-Drehstrom-Freileitungen. Diese Planungen stoßen auf zum Teil massive Widerstände bei den betroffenen Bürgern und Kommunen sowie Umwelt- und Naturschutzverbänden, die für den Netzausbau erdverlegte Kabel in Drehstrom- oder Gleichstromtechnik fordern. Die derzeitigen Realisierungszeiträume von teilweise mehr als zehn Jahren für Freileitungsprojekte sind vor dem Hintergrund der beschleunigten Energiewende deutlich zu lang.

Vor diesem Hintergrund wurde die vorliegende Studie „Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN), Goslar, in Zusammenarbeit mit der OECOS GmbH, Hamburg, von Oktober 2009 bis Ende Dezember 2011 erarbeitet.

Mit der Studie wird das Ziel verfolgt, die verschiedenen technischen Möglichkeiten eines Ausbaus der Höchstspannungsnetze auf Basis der 380-kV-Drehstromübertragung (HDÜ) und der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) vor allem aus Umweltsicht zu beleuchten und zu bewerten. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Möglichkeiten der Erdverkabelung im Vergleich zur Freileitungstechnik. Die Darstellung zentraler Wirkungszusammenhänge soll dazu beitragen, die Diskussion über die Umweltwirkungen des Netzausbaus in Deutschland zu versachlichen und nachvollziehbare Bewertungsgrundlagen für die zu wählenden Leitungstechnologien bereitzustellen.

Um dieser Zielsetzung gerecht zu werden, war neben den Betrachtungen zu Natur-, Umwelt- und Landschaftsverträglichkeit auch eine intensive Auseinandersetzung mit den technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Voraussetzungen sowie deren gegenseitigen Abhängigkeiten und Möglichkeiten von der Aufgabenstellung umfasst.



Die Ergebnisse der Studie sollen auf der Basis von Grundlagen und Arbeitshilfen insgesamt einen Beitrag zur Vorbereitung der anstehenden Entscheidungen zur Ausführung des Netzausbaus leisten.

Der Abschlussbericht umfasst vier Bände. Im vorliegenden ersten Band werden die wesentlichen Ergebnisse und Empfehlungen der Studie zusammengefasst. Dem Schwerpunkt der Studie entsprechend gliedern sich die weiteren Teilbände nach den Themenfeldern „Umwelt“ (Band 2), „Technik und Ökonomie“ (Band 3) sowie „Recht“ (Band 4). Die Teilberichte sind inhaltlich soweit als möglich miteinander verbunden.

Antragsteller der Studie war das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN). Das EFZN ist eine wissenschaftliche Einrichtung der Technischen Universität Clausthal in Kooperation mit der Technischen Universität Braunschweig und den Universitäten Göttingen, Hannover und Oldenburg mit Sitz in Goslar. Ziel dieser Forschungseinrichtung ist es, durch eine dauerhafte Kooperation unterschiedlicher technischer und nicht-technischer Wissenschaftsdisziplinen der zunehmenden Komplexität energiebezogener Fragestellungen adäquat begegnen zu können (www.efzn.de).

Die Erstellung der Studie erfolgte durch ein transdisziplinäres Projektkonsortium mit Wissenschaftlern aus den Bereichen Umwelt, Technik und Recht unter Leitung und Koordination des EFZN (Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck; Ass.jur. Wolfgang Dietze).

Die technisch-wirtschaftlichen Fragestellungen wurden für das EFZN durch das Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik / Fachgebiet Elektrische Energieversorgung der Leibniz Universität Hannover (Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann), die rechtlichen Fragestellungen federführend durch das Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht der Technischen Universität Clausthal (Prof. Dr. jur. Hartmut Weyer) in Kooperation mit dem Institut für Öffentliches Recht, insbesondere Verwaltungsrecht, der Universität Göttingen (Prof. Dr. jur. Thomas Mann) bearbeitet.

Die Untersuchungen zu umweltplanerischen und ökologischen Fragestellungen wurden durch die OECOS GmbH als Unterauftragnehmer des EFZN vorgenommen. Die OECOS GmbH ist ein in Hamburg ansässiges, überregional tätiges Umweltplanungsbüro, das von apl. Prof. Dr.-Ing. Karsten Runge geleitet wird. OECOS befasst sich schwerpunktmäßig mit räumlichen Entwicklungskonzepten, Umweltuntersuchungen sowie der Ausarbeitung von Umweltverträglichkeitsstudien und Sachverständigengutachten auf allen Planungsebenen.

Die Erstellung der Studie wurde von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe aus Vertretern von Bundesumweltministerium, Bundesnetzagentur, Umweltbundesamt, Bundesamt für Naturschutz, Länderbehörden, Netzbetreibern und Herstellern unterstützt, um ein auch von Fachleuten aus der Praxis getragenes Ergebnis zu erzielen.

2. Methodisches Vorgehen

Die Studie hatte zur Aufgabe, durch eine allgemeine Darstellung zentraler Wirkungszusammenhänge aus Umwelt-, technisch-wirtschaftlicher und rechtlicher Sicht dazu beizutragen, nachvollziehbare Bewertungsgrundlagen für die Auswahl geeigneter Stromübertragungstechnologien bereitzustellen. Auftragsgemäß verfolgte die Studie hingegen nicht das Ziel, detaillierte Untersuchungen zu einzelnen Vorhaben des Netzausbaus durchzuführen, um insbesondere nicht in laufende Planungsverfahren einzugreifen. Den Bearbeitern der Studie ist bewusst, dass allgemeine Aussagen zu Umweltauswirkungen, Technologien, Wirtschaftlichkeit oder rechtlichen Fragestellungen keine abschließende Beurteilung erlauben und detaillierte Empfehlungen nur zu konkreten Trassen etwa im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsüberprüfung oder einer Leitung im Netzsystemverbund getroffen werden können. Um trotzdem eine gewisse Vergleichbarkeit einzelner Technologien sicherzustellen, wurden Systemaspekte, d.h. die Fragen nach Vor- und Nachteilen einzelner Technologien für konkrete Anwendungsfälle mit definierten systemischen Rahmenbedingungen ausgeschlossen. Es ist bekannt, dass je nach technischen Rahmenbedingungen eine bei isolierter Betrachtung positive Technologie bei einer konkreten Systemeinbindung Nachteile aufweisen kann, die die ursprüngliche Aussage in Frage stellen können.

Methodik der Arbeitsgruppe Umwelt

Die Umweltwirkungen von Höchstspannungserdkabeln und Höchstspannungsfreileitungen wurden im Teilbericht Umwelt (vgl. Band 2 der Studie) maßgeblich als Ergebnis einer Literatursynopse dargestellt. Mit einer möglichst dichten Zitation der Literaturquellen sollte in dieser Hinsicht 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 Drehstromkabelprojekten anderer Spannungsebenen und Darstellungen aus vergleichbaren Projekten, wie z.B. Erdgasleitungen (bezüglich der Umweltwirkungen in der Bauphase) mitverwendet.

Methodik der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie

In den Teilberichten zu den Ergebnissen der technischen und wirtschaftlichen Untersuchungen der AG Technik/Ökonomie (vgl. Band 3 der Studie) wurden zunächst verschiedene für den Ausbau der Höchstspannungsnetze zur Verfügung stehende Drehstrom- und Gleichstrom-Übertragungssysteme beschrieben und ihre wichtigsten technischen Eigenschaften vorgestellt. Darauf aufbauend wurden die Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ) in den Ausführungen als Freileitung und als VPE-Erdkabel sowie die selbstgeführte Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung mit Gleichspannungszwischenkreis (VSC-HGÜ) mit VPE-Erdkabeln für verschiedene Übertragungsleistungen, Leitungslängen und Mastausführungen bzw. Kabelgrabenprofilen anhand technischer, betrieblicher und wirtschaftlicher Kriterien miteinander verglichen und bewertet. Des Weiteren wurden zum einen die magnetischen und elektrischen Felder für typische Anordnungen der verschiedenen Übertragungssysteme und für unterschiedliche Übertragungsleistungen und -spannungen berechnet und miteinander verglichen. Zum anderen wurden die aus thermischer Sicht maximal möglichen Übertragungsleistungen von Drehstrom- und Gleichstromkabelsystemen sowie die bei einer bestimmten maximalen Übertragungsleistung im Erdboden entstehenden Temperaturverteilungen bestimmt. Dabei wurde der Einfluss von unterschiedlichen thermischen Erdbodenwiderständen, thermischen Bettungsmaterialien und Schutzrohren analysiert.

Methodik der Arbeitsgruppe Recht

Im rechtlichen Bereich (vgl. Band 4 der Studie) wurde das Zusammenspiel der einzelnen Regelungen und Verfahren für die Durchführung von Netzausbauvorhaben auf der Höchstspannungsebene wie auch deren konkrete Ausgestaltung und Anwendung überprüft. Untersucht wurden sowohl der generelle Rechtsrahmen für den Ausbau der Höchstspannungsnetze als auch die speziellen Fragen von Drehstrom- oder HGÜ-Erdleitungen.

Der geltende Rechtsrahmen wurde in vier Regelungsebenen strukturiert:

- Ermittlung des Netzausbaubedarfs
- Festlegung von Trassenkorridoren (in der Regel durch Raumordnungsverfahren, zukünftig auch Bundesfachplanung)
- Zulassung der Leitungsbauvorhaben, insbesondere des konkreten Leitungsverlaufs (in der Regel durch Planfeststellungsverfahren)
- Kostenanerkennung in der Anreizregulierung (in der Regel durch Genehmigung von Investitionsbudgets).



Arbeitsgrundlagen der Arbeitsgruppe Recht waren zunächst Literatur und Rechtsprechung zu den einschlägigen Rechtsvorschriften. Daneben wurden Gespräche mit Vertretern von Übertragungsnetzbetreibern, Planungsbehörden, Genehmigungsbehörden sowie der Bundesnetzagentur zu den Erfahrungen bei abgeschlossenen oder laufenden Netzausbauvorhaben geführt. Berücksichtigt wurden außerdem sonstige verfügbare Informationen zur Verwaltungspraxis wie etwa Positionspapiere. Einbezogen wurden auch Erfahrungen mit dem Netzausbau in der Schweiz und Österreich.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde die Untersuchung des Landesrechts im Regelfall auf die Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg beschränkt. Thüringen wurde infolge des den Naturpark Thüringer Wald querenden EnLAG-Pilotvorhabens, das auf eine Erprobung der Teilverkabelung unter den besonderen geographischen Bedingungen einer Mittelgebirgslandschaft abzielt, teilweise zusätzlich in den Blick genommen.

3. Kurzfassung der Ergebnisse

Bericht der Arbeitsgruppe Umwelt

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Darstellungen im Teilbericht Umwelt einmal für Erdkabel (Kap. 2), ein anderes Mal für Freileitungen (Kap. 3) nach dem Schutzgüterkatalog des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG § 2) gegliedert. Auftragsgemäß münden dabei die im Textteil des Teilberichts ausführlich dargestellten Umweltsachverhalte in eine tabellarische Orientierungshilfe ein, die in einem vorgelagerten Planungsstadium eine Entscheidung zwischen Erdkabel einerseits und Freileitung andererseits erleichtern soll (vgl. Anhang I).

Zusammenfassend können folgenden Ergebnisse festgehalten werden:

Menschliche Gesundheit: Hinsichtlich menschlicher Gesundheit stehen die magnetischen Felder von Erdkabeln und die elektrischen und magnetischen Felder von Freileitungen im Mittelpunkt der umweltorientierten Betrachtung. Nach der 26. BImSchV 1996 (§ 3 Anhang) liegt der Immissionsgrenzwert der magnetischen Flussdichte in Deutschland bei 100 μT (50 Hz) und gilt für alle Orte, an denen Menschen sich dauerhaft aufhalten können. Epidemiologische Untersuchungen weisen zwar darauf hin, dass Wirkungen unterhalb dieses Grenzwertes möglich sind, Ursache-Wirkungsbeziehungen gelten jedoch aktuell als nicht nachweisbar, so dass die Strahlenschutzkommission keine Verschärfung der 26. BImSchV empfiehlt. Vor dem Hintergrund bestehender Wissensunsicherheiten werden die Grenzwerte sowohl in einigen Bundesländern als auch vereinzelt im Ausland mit hohen Vorsorgemargen versehen. In der Schweiz gilt z.B. ebenfalls 100 μT als Grenzwert. Darüber hinaus wird



jedoch in der Schweiz ein zweiter Grenzwert von 1 μT für die Dauerexposition an sensiblen Orten definiert. In Bremen (2004) empfiehlt der Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales in Daueraufenthaltsbereichen sogar die Einhaltung von 0,3 μT bei Hochspannungsleitungen¹. Die von einem Nahbereich abgesehen vergleichsweise geringen Magnetfeld- und unbeachtlichen Elektrofildimmissionen durch Erdkabel machen den Einsatz der Erdkabeltechnologie auf Höchstspannungsebene als Alternative zu Freileitungen unter Vorsorgegesichtspunkten besonders interessant. Das EnLAG erkennt innerhalb eines Abstands von 400 m zu Wohngebäuden im Geltungsbereich eines Bebauungsplans oder im unbeplanten Innenbereich gem. § 34 BauGB (falls vorwiegend Wohnnutzung) sowie innerhalb eines Abstands von 200 m zu Wohngebäuden im Außenbereich gem. § 35 BauGB eine besondere Betroffenheit durch Freileitungen. Das Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen (2008) stellt innerhalb dieser Abstände auf Neutrassen die Verlegung von Erdkabeln als Ziel fest, wobei dies mit Wohnumfeldgesichtspunkten und nicht mit Gesichtspunkten der menschlichen Gesundheit begründet wird.

Tiere, Pflanzen und biologische Vielfalt: Das Naturschutzrecht sieht traditionelle Schutzgebietssysteme, die Unterschutzstellung bestimmter Biotope sowie den speziellen Artenschutz als ein komplexes Reglement zur Vermeidung der Beeinträchtigung von schutzwürdigen Tieren, Pflanzen und der Inanspruchnahme von Biotopen durch den Bau und den Betrieb von Stromleitungstrassen vor.

Die Avifauna ist insbesondere durch die Anlage von Freileitungstrassen für die Dauer der Betriebsphase gefährdet. Bei Erdkabeln ergibt sich eine besondere Gefährdung für bodenlebende Tier- und Pflanzenarten v.a. während der Bauphase. Eingriffe durch Trassenfreihaltung sind bei Erdkabeln aufgrund geringerer Trassenbreite in Gehölzen geringer als bei Freileitungen. Für die meisten Tier- und Pflanzenartengruppen können allgemeine Hinweise auf mögliche Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen für Beeinträchtigungen durch Bau und Betrieb von Höchstspannungsleitungen gegeben werden. Streng geschützte Gebiete wie Naturschutzgebiete, Nationalparke, FFH-Gebiete, Biosphärenreservate (Zone 1+2), RAMSAR-Gebiete und gesetzlich geschützte Biotope gem. § 30 BNatSchG sollten möglichst nicht in Anspruch genommen werden. Dies gilt prinzipiell auch für weniger streng geschützte Gebiete wie Landschaftsschutzgebiete, Biosphärenreservate (Zone 3) und Naturparke.

Unter den schutzwürdigen Biotopen sind insbesondere Feuchtgebiete (Hoch- und Niedermoore, Sümpfe, rezente Auen, Gewässerufer) sowie Trockenrasen und spez.

¹ Die weltweit sehr unterschiedlichen Grenzwerte, Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern wurden als Vorarbeit zu dieser Studie vom ECOLOG-Institut, Hannover, zusammengestellt (vgl. Neitzke u. Osterhoff).



Grünlandstandorte mit Gefährdungsstatus 1-2 für Erdkabelverlegung aufgrund unterschiedlicher Faktoren nicht geeignet. Für Freileitungstrassen ergeben sich aufgrund der 40 m bis über 70 m (Spannfeldmitte) breiten Schutzstreifen hohe Konflikte bei Gehölzbiotopen, insbesondere bei solchen mit Gefährdungsstatus 1-2 (v.a. großräumige Misch- und Laubwaldbiotope).

Boden: Die Verlegung von Erdkabeln im Untergrund kann v.a. in der Bauphase zu Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen auf dem Wege der Bodenverdichtung, der Störung des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes führen. Die Anlage und der Betrieb von Höchstspannungskabeln können sich v.a. hinsichtlich potenzieller Erwärmung und Austrocknung in ggf. langen Belastungsphasen nachteilig auf den Boden auswirken. Maßgeblich für das Risiko des Auftretens von Situationen mit einer starken Bodenerwärmung ist die technische Auslegung des jeweiligen Höchstspannungskabels sowie die Art seiner thermischen Bettung.

Wasser: Im Zuge von Erdkabelverlegungen sind mögliche baubedingte Auswirkungen auf das Grundwasser und auf ggf. indirekt beeinflusste Oberflächengewässer zu beachten. Dies gilt insbes. bei Feuchtgebieten mit hoch anstehendem Grundwasser oder Gebieten mit gespannten Grundwasserleitern, die für die Zeit der Kabelverlegung eine aktiv herbeigeführte Grundwasserabsenkung erfordern und unbeabsichtigt drainiert werden könnten. Irreversible Schädigungen durch Erdkabelverlegung lassen sich i. Allg. durch bauliche Vorsorgemaßnahmen (umsichtige Wasserhaltung, korrekter Rückbau der Bodenschichtung) ausschließen.

Bei Freileitungen kann es bau- und anlagebedingt zu kleinräumigen und lokalen Auswirkungen an den Maststandorten auf das Grundwasser kommen.

Luft und Klima: Während der Bauphase können sowohl bei Erdkabeln als auch bei Freileitungen erhöhte Abgas- und, bei langanhaltender Trockenheit, Staubemissionen in Folge des Einsatzes von Fahrzeugen und Baumaschinen entstehen, die jedoch keine nachhaltigen und negativen Veränderungen auf die klimatischen Verhältnisse haben.

Bei Freileitungen kommt es in der Betriebsphase bei bestimmten Witterungen zu geräuschhaften Koronaentladungen und damit zu einer Ionisierung von Luftmolekülen. Verschiedentlich wird eine verstärkte Entwicklung von Oxidantien wie z.B. Ozon und Stickoxiden mit Koronaentladungen in Verbindung gebracht.

Landschaft: Bei Erdkabeln verbleibt nach der Bauphase in Gebüsch und Wäldern eine Schneise von 12 m bis 25 m Breite. Im Offenland ist die Trasse ein Jahr nach Fertigstellung aus der Perspektive des Durchschnittsbetrachters nicht mehr zu erkennen.



Als Nebenbauwerke sind ggf. Muffenbauwerke, Schachtbauwerke, Umrichtstationen und Kabelübergangsanlagen zu beachten.

Freileitungsmasten und die sie verbindenden Leiterseile stellen weithin sichtbare Objekte in der Landschaft dar, die visuell im Allgemeinen als störend und in ihrer Wirkung als landschaftszerschneidend empfunden werden. Zur Beurteilung der Wirkung von Freileitungen auf das Landschaftsbild werden üblicherweise Beeinträchtigungszonen unterschieden. In der Studie wird zum Abgleich mit der Bewertungspraxis an Windenergieanlagen ein Zonierungsmodell mit heran gezogen, welches in der Windparkplanung breite Praxisrelevanz gewonnen hat.

Kulturgüter und sonstige Sachgüter: Mit den Bauarbeiten für Erdkabel oder Freileitungstrasse können Kulturdenkmäler, insbesondere archäologische Denkmäler, gefährdet sein. Durch die Anlage einer Freileitung kann es in der Nähe von Kulturdenkmälern, bspw. Kirchen, zu visuellen Beeinträchtigungen kommen, die nach Möglichkeit bereits in der Planung ausgeschlossen werden.

Bericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle in den einzelnen Teilberichten der AG Technik/Ökonomie vorgestellten Drehstrom- und Gleichstrom-Übertragungssysteme bewährte Technologien darstellen und grundsätzlich im Höchstspannungsnetz einsetzbar sind. Es bestehen aber Unterschiede in Bezug auf ihre technische, betriebliche und wirtschaftliche Bewertung (vgl. auch die tabellarische Auswertung in Band 3, Teil V der Studie). Dabei muss stets darauf hingewiesen werden, dass bei Übertragungsleitungen in der HÖS-Ebene sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Auslegung immer maßgeblich vom konkreten Projekt, den betrieblichen Anforderungen und seinen speziellen Randbedingungen (z. B. Übertragungsleistung, Trassenlänge, Leitungsauslastung, Bodenverhältnisse, Querungen, Kupfer-/Aluminiumpreise, etc.) abhängt. Ein sinnvoller Vergleich der unterschiedlichen zur Verfügung stehenden Technologien ist damit immer nur unter Bezugnahme auf die der Auslegung zugrunde gelegten Annahmen möglich. Darüber hinaus müssen immer auch die Systemaspekte, d. h. die Auswirkungen der unterschiedlichen Übertragungssysteme auf das Verbundnetz und dessen Systemverhalten mit untersucht werden. Dies war jedoch auftragsgemäß nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

Die Drehstrom-Freileitung ist mit einem Anteil von mehr als 99,7 % (Stand Ende 2008) der Stromkreislänge in der Höchstspannungsebene das in Deutschland meistverbreitete Übertragungssystem. Sie wird seit 1952 für eine Betriebsspannung von 380 kV eingesetzt. Dementsprechend liegen hier auch die meisten Betriebs- und Langzeiterfahrungen vor. Drehstrom-VPE-Kabel werden in der Höchstspannungs-



ebene seit 1986 und bislang nur auf verhältnismäßig kurzen Strecken (≤ 22 km) in hauptsächlich großstädtischen Netzen eingesetzt. Dementsprechend verfügen die Netzbetreiber über relativ geringe Betriebs- und Langzeiterfahrungen mit dieser Technik. Beide Übertragungstechniken gelten als ausgereift. Es werden keine größeren Entwicklungssprünge in der nächsten Zeit erwartet.

Die selbstgeführte VSC-HGÜ mit VPE-Kabeln stellt eine vergleichsweise neue Technik dar, die erst seit 2002 und auch weltweit bisher nur auf wenigen Strecken als Punkt-zu-Punkt-Verbindung (z. B. Netzanschluss Offshore-Windpark BorWin) eingesetzt wird. Ein Einsatz im stark vermaschten Verbundnetz ist bisher noch nicht erfolgt, so dass entsprechende Betriebs- und Langzeiterfahrungen fehlen.

Der prinzipielle Vergleich der Drehstrom-Freileitung mit dem Drehstrom-Kabel zeigt, dass in der HÖS-Ebene technische, betriebliche und wirtschaftliche Vorteile der Freileitung gegenüber dem Kabel bestehen. Die Drehstrom-Freileitung zeichnet sich im Vergleich insbesondere durch ihre höhere Verfügbarkeit, Übertragungsleistung und Nutzungsdauer (> 80 Jahre) sowie ihre nicht alternde, nach Durchschlägen selbstheilende Luftisolierung und höhere Überlastbarkeit aus. Die Freileitung besitzt einen einfachen, aber aufgrund der großen Isolationsabstände breiten und hohen Aufbau mit Masthöhen von ca. 54 m und einen Schutzstreifen von bis zu ca. 70 m Breite in der Spannfeldmitte. Sie kann vergleichsweise einfach und kostengünstig errichtet werden und zeigt ein hohes Maß an Flexibilität, z. B. bei der Anpassung an die Landschaft oder bei der Querung von Verkehrswegen, Flüssen oder kleineren Seen, die in der Regel überspannt werden können. Die Nutzungsdauer verlängernde Maßnahmen können schnell und leicht durchgeführt werden.

Aufgrund der umfangreichen Tiefbauarbeiten und des komplexeren Kabelaufbaus ist die Legung von Drehstrom-Kabelsystemen aufwändiger und teurer als die Errichtung von Freileitungen. Es sind Schwertransporte für die Kabeltrommeln (ca. 40 t Trommelgewicht) erforderlich. Das Bettungsmaterial und der Aushub müssen an- und abtransportiert werden. Die Querung von Gewässern, Bundesstraßen oder Autobahnen erfolgt meist in geschlossener Bauweise mit Hilfe von Bohrpress- oder Horizontalbohrverfahren. Eine erhebliche Kostensteigerung tritt ein, wenn aufgrund der geringeren Übertragungsleistung der Kabel ein paralleles Kabelsystem gelegt werden muss, um die Übertragungsleistung eines Freileitungssystems zu erreichen.

Das Übertragungsverhalten der Drehstrom-Kabel wird durch den gegenüber einer Drehstrom-Freileitung um den ca. 17-fach höheren Kapazitätsbelag geprägt, welcher im Wesentlichen aus dem gedrungenen Aufbau mit einem Kabeldurchmesser von ca. 14,2 cm für ein 380-kV-Kabel mit einem Kupfer-Querschnitt von 2500 mm^2 und aus den elektrischen Eigenschaften des festen Isolierstoffes VPE resultiert. Dies führt da-



zu, dass Drehstrom-Kabel ohne Kompensationsmaßnahmen, welche schon ab wenigen zehn Kilometern unvermeidbar sind, technisch nicht für die Übertragung großer Leistungen über große Entfernungen geeignet sind. Soll der Einsatz von Drehstrom-Kabelsystemen dessen ungeachtet erfolgen, so ist eine regelmäßige Aufstellung von Kompensationsanlagen unerlässlich. Hierdurch entstehen ein zusätzlicher technischer und finanzieller Aufwand und Platzbedarf sowie zusätzliche Verluste. Auf den Netzbetrieb wirkt sich insbesondere die gegenüber einer Freileitung niedrigere Impedanz der Kabel aus. Diese führt zu einer im Vergleich mit dem Netzausbau mit Freileitungen höheren Kurzschlussleistung und damit höheren Kurzschlussströmen im Fehlerfall. Zum anderen kann der Einsatz von Drehstrom-Kabeln in einem freileitungsdominierten HÖS-Netz ohne den Einbau von Anpassungs-Drosselpulen zu einer deutlichen Verschiebung des Leistungsflusses im Netz und damit zu einer wesentlichen Mehrbelastung der Kabel und ungewollten und unwirtschaftlichen Entlastung der anderen Leitungen führen.

Freileitungen sind atmosphärischen Störungen ausgesetzt, die, wie auch andere vorübergehende Einwirkungen, zu Kurzschlüssen führen können, die sich über Lichtbögen ausbilden. Durch kurzzeitiges Ab- und anschließendes Wiedereinschalten (AWE) des betreffenden Leiters können die Lichtbogenkurzschlüsse zum Verlöschen gebracht werden, ohne dass dadurch die Energieversorgung dauerhaft beeinträchtigt wird oder ein bleibender Schaden entsteht. Die umgebende Luft stellt selbstheilend die Isolation wieder her. Bei Fehlern in Kabeln kann die AWE nicht angewendet werden, da ein Kurzschluss auf einem Kabel stets zu einer lokalen Zerstörung des Isoliersystems der betroffenen Leiter führt. Die Fehlersuche und die Reparatur der betroffenen Leiter sind aufwendig und können in ungünstigen Fällen mehrere Wochen (> 25 Tage) in Anspruch nehmen. Die Nichtverfügbarkeit eines Drehstrom-Kabelsystems ist damit trotz der geschützteren Legung im Erdboden erheblich höher als bei Freileitungen.

Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Drehstrom-Freileitungen und -Kabeln ergab für die im Rahmen dieser Studie untersuchten Varianten in Abhängigkeit von der Leitungslänge und der Übertragungsleistung Mehrkosten der Drehstrom-Kabel gegenüber den Drehstrom-Freileitungen mit Kostenfaktoren im Bereich von 2,8 bis 4,2. Dafür sind die Gesamtkosten mit den Investitionskosten und den mit der Barwertmethode abgezinsten jährlich anfallenden Betriebskosten berechnet worden.

Vergleicht man die VSC-HGÜ-Technik mit VPE-Kabeln mit der HDÜ-Technik mit Freileitungen oder Kabeln, so sind die folgenden Vorteile der VSC-HGÜ-Technik gegenüber der HDÜ-Technik zu nennen. Dies sind die spannungstützenden Eigenschaften, die durch eine in weiten Grenzen einstellbare Blindleistungsbereitstellung



an beiden Enden der VSC-HGÜ möglich sind, der geringe Längsspannungsabfall und die geringere Trassenbreite sowie die Möglichkeit der Steuerung des Leistungsflusses.

Dabei ist eine ständige und zuverlässige Leistungsregelung erforderlich, während im Drehstromnetz eine automatische Leistungsflussaufteilung erfolgt. Nachteilig wirken sich bei der HGÜ ihre geringere Verfügbarkeit, der ungenügende Beitrag zur Spannungsstützung im Fehlerfall, die höheren Verluste und die höheren Investitionskosten sowie die aufwändige Leistungsauskopplung aus, bei der zusätzliche Konverterstationen und bislang auf dieser Spannungsebene nicht verfügbare Gleichstromleistungsschalter erforderlich werden. Zu betonen ist aber, dass die VSC-HGÜ eine im Vergleich zur HDÜ (60 Jahre Betriebserfahrung mit 380-kV-Freileitungen und ca. 25 Jahre mit 380-kV-VPE-Kabeln) vergleichsweise junge Technik ist. Es ist zwar bislang noch kein VSC-HGÜ-Projekt mit einer Gleichspannung von ± 320 kV in Betrieb, doch hat die Umsetzung dieser Projekte (z. B. Netzanschluss 800-MW-Offshore-Windpark DolWin) begonnen. Es ist damit zu rechnen, dass weitere Verlustreduzierungen, Erhöhungen der Übertragungsleistungen durch höhere Gleichspannungen und eine Reduzierung der Nichtverfügbarkeit mit der Weiterentwicklung der VSC-HGÜ-Technik möglich sind.

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich von Drehstrom-Freileitungen und -VPE-Kabeln mit der VSC-HGÜ-Technik mit VPE-Kabeln ergab für die untersuchten Varianten Kostenfaktoren der VSC-HGÜ-Technik mit Kabeln gegenüber der Drehstrom-Freileitung, die in Abhängigkeit von der Leitungslänge und der Übertragungsleistung im Bereich von 8,8 bis 2,1 und gegenüber dem Drehstrom-VPE-Kabel im Bereich von 3,1 bis 0,5 liegen. Dabei zeigte sich, dass sich die Kostenfaktoren mit steigender Trassenlänge verringern und die VSC-HGÜ-Technik mit Kabeln für die hier untersuchten Varianten in Abhängigkeit von der Übertragungsleistung ab Längen von 130-280 km wirtschaftlicher wird als die HDÜ-Technik mit VPE-Kabeln.

Die Untersuchung der entstehenden elektromagnetischen Felder zeigte, dass bei allen untersuchten Übertragungssystemen durch eine geeignete Wahl der geometrischen Anordnung der Leiterseile untereinander und zum Erdboden bzw. durch die Anordnung der Kabel im Erdboden die bestehenden gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV auch im direkten Nahbereich und bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung im Normalbetrieb eingehalten werden können.

Drehstrom-Erdkabel besitzen kein äußeres elektrisches Feld. Die magnetischen Felder nehmen mit steigendem seitlichen Abstand zur Leitungstrasse etwas schneller ab als die der Freileitungen. Allerdings sind die maximalen magnetischen Flussdichten bei gleicher Leistungsübertragung und Spannung für die untersuchten Leitungsanord-



nungen um wenigstens 22 % höher als die der Freileitung in den jeweils relevanten Aufpunkten entsprechend der 26. BImSchV.

Die magnetische Flussdichte von Kabeln kann durch einen geringeren Kabelabstand oder technische Kompensationseinrichtungen (z. B. Kompensationsleiter) verringert werden. Hierbei ergeben sich jedoch Nachteile, wie eine schlechtere Wärmeabfuhr und damit eine verringerte Übertragungsleistung, Zusatzverluste und zusätzliche Investitionskosten. Bei Freileitungen ergeben sich die maximalen elektrischen und magnetischen Felder in der Regel in der Spannfeldmitte, in Richtung der Maste werden sie deutlich kleiner. Durch eine Reduzierung des Seildurchhangs können die maximalen elektrischen und magnetischen Felder reduziert werden.

Die VSC-HGÜ mit Kabel ist im Hinblick auf die elektromagnetischen Felder insgesamt am günstigsten zu beurteilen, da diese zum einen durch die metallische Schirmung der Kabel kein äußeres elektrisches Feld besitzt und zum anderen aufgrund der Verwendung von Gleichstrom nur ein statisches Magnetfeld auftritt, das maximal im Bereich der in Deutschland auftretenden magnetischen Flussdichte des Erdmagnetfeldes liegt.

Die maximal übertragbare Leistung von HDÜ- und HGÜ-Kabelsystemen hängt entscheidend vom spezifischen thermischen Erdbodenwiderstand, der Wahl des Leiterquerschnitts, der Kabellegeart und dem geometrischen Aufbau des Kabelgrabenprofils ab. Falls der Erdboden in einem Bereich der Trasse einen zu großen Wert für den thermischen Widerstand aufweist, und die Gefahr der Entstehung eines Hot-Spots besteht, können durch den Einsatz eines thermischen Bettungsmaterials die thermischen Eigenschaften des Erdbodens aufgewertet werden. Der Austausch des die Kabel umgebenden Erdbodens gegen thermisch stabilisierte Bettungsmaterialien kann bei der Drehstromübertragung zu Leistungssteigerungen von bis zu 21 Prozent führen. Im Vergleich zur Kabellegung im Schutzrohr wird eine Steigerung von 22 Prozent erreicht. Mit derselben Maßnahme sind bei den untersuchten HGÜ-Kabelgrabenprofilen Leistungssteigerungen von bis zu 18,5 Prozent möglich. Andererseits würden sich durch das Einbringen der thermisch stabilisierten Bettungsmaterialien bei gleichen Übertragungsleistungen geringere Leiter- und Erdbodenerwärmungen einstellen. Höherwertige Bettungsmaterialien bringen weitere Verbesserungen des thermischen Verhaltens. Eine Kabellegung in Schutzrohren wirkt sich hingegen negativ auf die resultierende Übertragungsleistung aus. Hohe Abstände zwischen den Kabeln bzw. den Kabelsystemen sind für das thermische Verhalten generell günstig, haben aber ihrerseits eine negative Auswirkung auf die Größe der magnetischen Felder (s. o.).

Der Einsatz der HGÜ-Technik im stark vermaschten deutschen und europäischen Übertragungsnetz erscheint nach heutigem Stand der Technik aufgrund der genann-

ten Betriebseigenschaften, dem zusätzlichen Aufwand für die Leistungsauskopplung, den noch fehlenden Gleichstrom-Leistungsschaltern und der wirtschaftlichen Nachteile gegenüber der HDÜ mit Freileitungen und bei kürzeren Strecken (für die hier untersuchten Varianten < 130-280 km) auch gegenüber der HDÜ mit Kabeln aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nachteilig.

Die HGÜ-Technik sollte dort eingesetzt werden, wo sie ihre technischen Vorteile gegenüber der Drehstromtechnik ausspielen kann. Anwendungsgebiete sind die Kupplung asynchroner Netze sowie die Energieübertragung über sehr große Entfernungen, wie z. B. als Seekabelverbindung, beim Netzanschluss von weit auf See liegenden Offshore-Windparks oder auch im Rahmen eines deutschen oder europäischen Overlay-Netzes zur großräumigen Energieübertragung zwischen Erzeugungsschwerpunkten, wie z. B. der deutschen Nordseeküste/Großraum Hamburg mit den zukünftigen Offshore-Windparkeinspeisungen, und Verbrauchsschwerpunkten, wie z. B. den Großräumen Frankfurt, Stuttgart, etc. Dabei sollten in der Planung aus wirtschaftlichen Gründen neben Lösungen mit einer VSC-HGÜ mit VPE-Kabeln auch Lösungsmöglichkeiten mit einer VSC-HGÜ mit Freileitungen untersucht werden.

Bericht der Arbeitsgruppe Recht

Festzuhalten ist aus rechtlicher Sicht zunächst, dass der Rechtsrahmen einer Erdverkabelung, sowohl in Drehstrom- als auch in Gleichstromtechnik, auf der Höchstspannungsebene enge Grenzen setzt. Diese Grundentscheidung wurde im Rahmen des Energiepaketes 2011, trotz der deutlichen Ausweitung der Erdverkabelungsvorgaben für die 110 kV-Ebene, für die Höchstspannungsebene beibehalten. Vorgesehen ist eine Erdverkabelung zunächst für die Fortführung von Seekabeln an Land (§ 43 S. 1 Nr. 3 und 4 EnWG). Darüber hinaus ist eine Erdverkabelung auf Höchstspannungsebene – zudem nur in Form einer Teilverkabelung – lediglich für die vier EnLAG-Pilotvorhaben nach § 2 EnLAG sowie nunmehr für ein weiteres Pilotvorhaben zur verlustarmen Übertragung hoher Leistungen über große Entfernungen nach § 12e Abs. 3 EnWG vorgesehen. Eine solche Teilverkabelung setzt zudem voraus, dass es sich um einen technisch und wirtschaftlich effizienten Teilabschnitt handelt und dass entweder eine Siedlungsannäherung erfolgt oder der Naturpark Thüringer Wald betroffen ist. Zusätzliche Restriktionen ergeben sich für HGÜ-Erdleitungen, da eine Ausführung in Gleichstromtechnik (HGÜ) nach dem Verständnis des Teilberichts Recht nur durch die Sondervorschriften für Seekabel-Fortführungen sowie für das Pilotvorhaben nach § 12e EnWG, nicht aber für die vier EnLAG-Pilotvorhaben abgedeckt ist.

Außerhalb der Seekabel-Fortführungen und der vier Teilverkabelungs-Pilotvorhaben des EnLAG ist die Zulässigkeit einer Erdverkabelung angesichts der



Gesetzesbegründung zum EnLAG problematisch, erscheint im Ergebnis allerdings naheliegend. Gleiches gilt für die Regelung eines Erdkabel-Pilotvorhabens zur verlustarmen Übertragung hoher Leistungen über große Entfernungen nach § 12e Abs. 3 EnWG. Die Anerkennung der Mehrkosten in der Anreizregulierung ist aber bewusst restriktiv ausgestaltet und bedarf außerhalb der genannten Fälle besonderer Begründung. Damit erscheint eine Erdverkabelung außerhalb der angesprochenen Regelungen weitgehend ausgeschlossen, solange nicht ein Dritter aufgrund besonderer Umstände die Kosten übernimmt. Nicht deutlich geregelt ist die Frage, ob die Bundesnetzagentur ausnahmsweise auch dann zur Kostenanerkennung verpflichtet ist, wenn die Genehmigungsbehörde das Vorhaben nur als Erdverkabelung, ggf. auch mit Vorgaben zur Ausführung in Dreh- oder Gleichstromtechnik, zugelassen hat. Wünschenswert erscheint insoweit eine gesetzliche Regelung der Bindungswirkung, wobei die Einführung einer Einvernehmensregelung befürwortet wird.

Der Rechtsrahmen für den Netzausbau durch Höchstspannungsdrehstrom- oder HGÜ-Erdleitungen, soweit diese nach dem Vorstehenden überhaupt in Betracht kommen, hat sich mit dem Energiepaket 2011 erheblich fortentwickelt. Der Teilerbericht Recht begrüßt insbesondere die Vorschaltung einer hoheitlichen Bedarfsplanung vor die Festlegung von Trassenkorridoren und die Zulassung konkreter Leitungsbauprojekte. Eine fachlich fundierte und hoheitlich abgesicherte Ermittlung des Netzausbaubedarfs ist notwendige Voraussetzung, damit Leitungsbauprojekte von den Betroffenen im Grundsatz akzeptiert werden. Begrüßenswert ist in diesem Zusammenhang auch die weitreichende Öffentlichkeitsbeteiligung. Insoweit ist die Erstellung eines Bundesbedarfsplanes auf Grundlage des von den Übertragungsnetzbetreibern aufgestellten, behördlich überprüften und umfassend konsultierten Szenariorahmens und nationalen Netzentwicklungsplanes ein wesentliches Instrument zur Verbesserung des Rechtsrahmens. Damit entfällt der problematische Ansatz, im Raumordnungsverfahren auf die nachfolgende Prüfung der Planrechtfertigung im Planfeststellungsverfahren zu verweisen.

Der Bundesbedarfsplan als hoheitliche Bedarfsfeststellung sollte nach der Empfehlung des Teilerichts Recht deutlich über den bisherigen Detaillierungsgrad des EnLAG-Bedarfsplans oder der TEN-E-Leitlinien hinausgehen und etwa auch Angaben zu den Anforderungen hinsichtlich Netzverknüpfungen sowie der Anbindung von Umspannwerken, Kraftwerken oder Speichern enthalten. Zudem sollte er auch, soweit energiewirtschaftlich begründet, Vorgaben zu der technischen Ausführung als Frei- oder Erdleitung bzw. als Dreh- oder Gleichstromverbindung enthalten. Dies rechtfertigt sich insbesondere aus den Rückwirkungen auf die Funkti-



on des Höchstspannungsnetzes und aus den länderübergreifenden kostenmäßigen Auswirkungen.

Begrüßt wird die grundsätzliche strukturelle Trennung der Bedarfsermittlung (nunmehr §§ 12a ff. EnWG) einerseits und der Festlegung von Trassenkorridoren (Bundesfachplanung bzw. Raumordnung) andererseits. Dahinter steht die Überlegung, dass die Bedarfsermittlung vorrangig eine energiewirtschaftliche Fachplanung erfordert, während die Festlegung der Trassenkorridore eine überfachliche Abstimmung der unterschiedlichen Nutzungsansprüche an den Raum notwendig macht. Wünschenswert erscheint eine Abbildung dieser unterschiedlichen Aufgaben in der Behördenzuständigkeit. Soweit im Anwendungsbereich der Bundesfachplanung nach §§ 4 ff. NABEG nunmehr eine einheitliche Zuständigkeit der Bundesnetzagentur begründet ist, sollte zumindest eine eindeutige organisatorische Trennung innerhalb der Behörde erfolgen.

Die Festlegung der Trassenkorridore erfolgte bislang durch Landesplanungsbehörden. Dies kann gerade bei länderübergreifenden Vorhaben (Ländergrenzen überschreitende Trassen, alternative Korridorverläufe in unterschiedlichen Bundesländern) Probleme aufwerfen. Daher wurde mit dem NABEG für länderübergreifende (und grenzüberschreitende) Vorhaben des Bundesbedarfsplans eine Bundesfachplanung durch die Bundesnetzagentur eingeführt. Die Bundesfachplanung wird zwiespältig beurteilt. Sie behebt einerseits die Koordinationsprobleme, doch ergeben sich andererseits Akzeptanzfragen, insbesondere aufgrund des größeren Abstands zu den betroffenen Regionen und aufgrund der (bisherigen) Wahrnehmung der Bundesnetzagentur als energiewirtschaftlicher Fachbehörde. Um eine ausgewogene Entscheidung zwischen allen Nutzungsansprüchen an den Raum zu fördern, sollte daher, wie bereits ausgeführt, zumindest eine eindeutige organisatorische Trennung von Bedarfsermittlung und Bestimmung der Trassenkorridore innerhalb der Bundesnetzagentur erfolgen.

Auf der Ebene der Bundesfachplanung bzw. Raumordnung kann sich eine normative Unterstützung des Netzausbaus aus Trassierungsgrundsätzen ergeben, insbesondere aus dem Gebot der Nutzung bestehender Stromtrassen und der Bündelung von Stromtrassen. Sie erleichtern die Auswahlentscheidung zwischen alternativen Trassenkorridoren und können ein Raumordnungsverfahren entbehrlich machen. In der neuen Bundesfachplanung werden das Gebot der Nutzung bestehender Trassen und der Bündelung von Stromtrassen durch die Einführung eines vereinfachten Verfahrens in diesen Fällen unterstützt. Derartige Trassierungsgrundsätze werden grundsätzlich befürwortet, wobei klargestellt werden sollte, dass kleinräumige Abweichungen vom vorhandenen Trassenverlauf mit den Trassierungsgrundsätzen vereinbar sind. Hingegen erscheint die Festlegung von Vor-



ranggebieten für Leitungstrassen in Raumordnungsplänen aus Akzeptanzgründen vor allem nach Abschluss eines Raumordnungsverfahrens zur Absicherung der ermittelten Trasse hilfreich, nicht aber die erstmalige Prüfung und Festlegung des Trassenkorridors im Rahmen der Erstellung des Raumordnungsplanes.

Bei der Auswahl der zu prüfenden Korridoralternativen sollte die Planungsbehörde eine aktivere Rolle einnehmen als bei Infrastrukturvorhaben öffentlicher Vorhabenträger üblich, um stärker auf die Einbeziehung aller geeigneten Trassenkorridore hinzuwirken und Zweifel an der Auswahl der vom Vorhabenträger eingebrachten Trassenalternativen auszuschließen. Für die Bundesfachplanung ist dies nunmehr ausdrücklich vorgesehen. Wichtig ist außerdem, dass die unterschiedlichen Prüfungsgegenstände von Raumordnung/Bundesfachplanung einerseits und Planfeststellungsverfahren andererseits nachvollziehbar dargestellt werden und darauf hingewirkt wird, dass alle für die Festlegung des Trassenkorridors relevanten Einwendungen bereits im Raumordnungsverfahren/Verfahren der Bundesfachplanung eingebracht werden. Die grundsätzliche Abstufung zwischen der Festlegung des Trassenkorridors einerseits und der Zulassung des konkreten Vorhabens andererseits wird aber weiter befürwortet. Sie vermindert den Prüfungsaufwand, indem die aufwändige Detailprüfung des Leitungsverlaufs auf einen ausgewählten Trassenkorridor beschränkt werden kann.

Soweit die Auswahlentscheidung zwischen Frei- oder Erdleitung nicht bereits auf der Ebene der Bedarfsermittlung getroffen wird, sollte die raumordnerische/bundesfachplanerische Beurteilung auf den für eine Erdverkabelung in Betracht kommenden Abschnitten zu beiden Möglichkeiten Stellung nehmen. Hingegen erscheint eine abschließende Auswahlentscheidung, insbesondere die Vorgabe der Erdverkabelung als Ziel der Raumordnung, sehr problematisch. Vielmehr ist die Frage der Erdverkabelung grundsätzlich auf der Ebene der Planfeststellung bzw. Genehmigung zu entscheiden. Aus besonderen Gründen kann im Rahmen der Variantenprüfung eine weitergehende Erdverkabelung vorzuzugswürdig sein.

Ein Planfeststellungsverfahren steht für Höchstspannungs-Erdleitungen nur in den gesetzlich geregelten Fällen zur Verfügung. Bislang waren dies nur die Seekabel-Fortführungen sowie die vier EnLAG-Pilotvorhaben. Nunmehr ist die Planfeststellung auch für alle NABEG-Leitungen vorgesehen. Für HGÜ-Erdleitungen ist unklar, ob ein Planfeststellungsverfahren über die Fälle des § 43 S. 1 Nr. 4 EnWG (grenzüberschreitende HGÜ-Leitungen) hinaus vorgesehen ist. Dies ist für die Fälle des § 43 S. 1 Nr. 3 EnWG (Anbindung von Offshore-Anlagen in Fortführung eines HGÜ-Seekabels) zu bejahen. Dagegen dürfte für die vier EnLAG-Pilotvorhaben nach § 2 Abs. 3 EnLAG ein Planfeststellungsverfahren nur für die Drehstrom-Teilverkabelung, nicht aber für eine HGÜ-Teilverkabelung zulässig sein.



Zur verbesserten Akzeptanz von Höchstspannungsleitungen können Ausgleichsleistungen für die vom Leitungsbau betroffenen Kommunen beitragen. Solche wurden im Zuge des Energiepakets vom August 2011 ausdrücklich zugelassen. Entschädigungszahlungen an nur mittelbar beeinträchtigte Bürger werden hingegen nicht empfohlen. Näher geprüft werden sollten Vorgaben zur Verwendung von Ausgleichsleistungen durch die Kommune, damit die Vorteile für die Einwohner unmittelbar deutlich werden und die Leistungen nicht im allgemeinen Haushalt „untergehen“.

Im Rahmen der vorliegenden Studie erstellte Übersichten zum Verfahrensablauf von Netzausbauvorhaben auf Höchstspannungsebene zeigen, dass eine Verfahrensdauer von 10 Jahren und mehr teilweise bislang nicht ausgeschlossen war, selbst wenn Vorbereitungszeiten vor den ersten förmlichen Verfahrenshandlungen außer Betracht bleiben. Andere Verfahren konnten hingegen in deutlich kürzerer Zeit abgeschlossen werden (im Einzelnen Anhang 6 des Berichts der AG Recht). Die Änderungen des Energiepaketes 2011 sind grundsätzlich zu begrüßen und können zu einer Beschleunigung beitragen.

4. Fazit

Die Anpassung des deutschen Übertragungsnetzes an die mit der Energiewende einhergehenden Veränderungen der Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen stellt Netzplaner, Ingenieure, Juristen und Ökologen vor große Herausforderungen. Einerseits ist ein verstärkter Stromtransport insbesondere von Ost nach West und von Nord nach Süd erforderlich, andererseits ist das deutsche Übertragungsnetz für diese Aufgabe nicht geplant und gebaut worden. Daher sind eine Verstärkung und ein Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes erforderlich, deren Notwendigkeit u.a. die dena I und die dena II Studien bereits aufgezeigt haben. Dabei gilt es, einen Kompromiss zwischen ökologischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sowie im Hinblick auf die öffentliche Akzeptanz zu finden. Die Belange der betroffenen Netzbetreiber, Bürger und Unternehmen sowie der öffentlichen Hand sind hierbei zu würdigen und die rechtlichen Rahmenbedingungen, die die Anerkennung der Kosten einer Erdverkabelung auf Höchstspannungsebene derzeit noch sehr restriktiv regeln, zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund war es Aufgabe der vorliegenden Studie, durch eine allgemeine Darstellung zentraler Wirkungszusammenhänge aus Umwelt-, technisch-wirtschaftlicher und rechtlicher Sicht dazu beizutragen, nachvollziehbare



Bewertungsgrundlagen für die zukünftige Auswahl geeigneter Stromübertragungstechnologien bereitzustellen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine pauschale Bewertung und Bevorzugung einer Übertragungstechnik für den erforderlichen Netzausbau in Deutschland nicht möglich ist. Vielmehr hat jede der untersuchten Übertragungstechniken aus ökologischen, technischen, wirtschaftlichen und juristischen Gesichtspunkten Vor- und Nachteile. Diese sind insbesondere von den Rahmenbedingungen des jeweiligen Vorhabens abhängig und somit auch individuell im Einzelfall gegeneinander abzuwägen.

Derartige Einzelfallbetrachtungen können aufgrund der Vielzahl möglicher Konstellationen von einer Studie der vorliegenden Art nicht geleistet werden und waren vom Auftrag nicht umfasst. Um die mit dem Netzausbau befassten Akteure bei ihren jeweiligen Einzelfallbewertungen bestmöglich zu unterstützen, wurden die in den einzelnen Teilberichten ausführlich dargelegten Ergebnisse als Kriterienkataloge bzw. Empfehlungslisten zusammengestellt (siehe Anhang). Insbesondere mit diesen Instrumenten will die Studie bei der Abwägung zwischen Freileitung und Erdkabel - in ihren jeweiligen technischen Ausführungen - eine praxisnahe Entscheidungshilfe bieten und damit ihren Beitrag zum erforderlichen Ausbau des deutschen Übertragungsnetzes leisten.

5 Anhang

- Anhang I: 8 Tabellen zur Synoptischen Bewertung der Umweltbelange
- Anhang II: 11 Tabellen Technisch-Wirtschaftlicher Kriterienkatalog
- Anhang III: Empfehlungsliste Recht

Anhang I: Tabellen zur Synoptischen Bewertung der Umweltbelange

Legende zu den folgenden Bewertungstabellen

Vor dem Schrägstrich (Bewertung ohne Vermeidungs- u. Minderungsmaßnahmen):

- ++ Sehr gut geeignet (wenige bis keine Auswirkungen auf die Umwelt),
- + Gut geeignet (übliche Auswirkungen auf die Umwelt),
- ~ Geeignet unter bes. Umständen (z.B. Auswirkungen können minimiert werden),
- Wenig geeignet (erhebliche Umweltauswirkungen zu erwarten),
- Ungeeignet (dauerhafte erhebliche Umweltauswirkungen zu erwarten)

Nach dem Schrägstrich (Bewertung inkl. Vermeidungs- u. Minderungsmaßnahmen):

- /*(...) Eignung (siehe oben) nach Durchführung von Minderungs-/Vermeidungsmaßnahmen

Bewertungstabelle 1: Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)

GESUNDHEIT UND WOHLBEFINDEN	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Nahbereich (unter- bzw. oberhalb der Leitung)	+	Max. Auslastung kann den Grenzwert der 26. BImSchV für magn. Felder (Dauerexposition) erreichen; vermindert z.B. durch Rohrverlegung	--/*-	+	Grenzwert der 26. BImSchV für elektrische Felder (Dauerexposition) kann bei max. Auslastung erreicht werden; Minderung d. höhere Leitungen	--/*-
2 Umgebung von Wohngebäuden bis 400 m Abstand im Innenbereich gem. §34 BauGB	-/*~	Bei Minderung der Schall- u. Staubemissionen zumutbare Beeinträchtigungen	+	-/*~	Bei Minderung der Schall- u. Staubemissionen Beeinträchtigungen zumutbar	~
3 Umgebung von Wohngebäuden bis 200 m Abstand im Außenbereich gem. §35 BauGB	+	I. Allg. geringfügige Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen	++	++	I. Allg. geringfügige Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen	~
4 Außerhalb der unter 2 u. 3 genannten Abstände	+	I. Allg. Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen marginal	++	++	Gem. 26. BImSchV zulässig, EnLAG § 2 Abs. 2 u. nieders. LROP stellen hier jedoch erhöhte Betroffenheit fest	+

(nach "/" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 2: Landschaftsbild

LANDSCHAFTSBILD	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Hochwertiges Landschaftsbild Nahzone (bis ca. 220 m)	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. verminderbar	-/*~ Beeinträchtigungen in Gehölzen durch ca. 12 m - 25 m breite Schneise sichtbar, durch Trassenmanagement vermindert	-/*+ Sensible Räume sind zu meiden, gute Eignung im Offenland	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung z.T. vermeid- u. verminderbar	-/*~ Beeinträchtigung durch Masten, Leitungsstränge u. in Gehölzen 40 m - 70 m breite Schneisen. Minderungspotenzial gering	-/*- Wenig geeignet aufgrund unvermeidlicher visueller Wirkung
2 Hochwertiges Landschaftsbild Mittelzone (ca. 220 m - 1.100 m)	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. verminderbar	-/*+ Beeinträchtigungen in Gehölzen durch ca. 12 m - 25 m breite Schneise nach Minderung i. Allg. gering	-/*+ Nach Minderung gute Eignung,	-/*~ Temporäre Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. verminderbar	-/*~ Beeinträchtigung durch Masten, Leitungsstränge u. in Gehölzen 40 m - 70 m breite Schneise. Minderung durch Trassierung, ggf. Waldüberspannung u. Trassenmanagement	-/*- Geringe Eignung aufgrund partieller Minderungsmaßnahmen möglich
3 Hochwertiges Landschaftsbild Fernzone (ca. 1.100 m - ca. 5.000 m)	+ Beeinträchtigung unerheblich	+/*++ Beeinträchtigungen in Gehölzen durch ca. 12 m - 25 m breite Schneise nach Minderung i. Allg. marginal	+/*++ Nach Minderung sehr gute Eignung,	~ Temporäre Beeinträchtigung weitgehend unerheblich	~ Sichtbare Masten in Gehölzen 40 m - 70 m breite Schneise bzw. Waldüberspannung . Beeinträchtigung Frage des Einzelfalls	~ Eignung aufgrund großer Entfernung möglich, jedoch Einzelfallfrage
4 Ortsbild an Wohnsiedlungen Nahzone (bis ca. 220 m)	~ Beeinträchtigung zumutbar	+ I. Allg. keine Beeinträchtigung	+ I. Allg. keine Beeinträchtigung	- Visuelle Beeinträchtigung wahrscheinlich, kaum vermindert	- Visuelle Beeinträchtigung wahrscheinlich, kaum vermindert	- Geringe Eignung ohne wirksame Minderungsmaßnahmen

(nach "/>" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 3: Tiere und Pflanzen

TIERE UND PFLANZEN	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Avifauna	-/*~ Störungen bei Rast u. Brut, ggf. Habitatverlust. Durch div. Maßnahmen, z.B. Feintrassierung und entspr. Terminierung, vermeid- u. verminderbar	+ Ggf. Beitrag zur Lebensraumvielfalt (Waldschneisen)	-/*+ Potenzielle Störungen sind i. Allg. vermeid- u. verminderbar	-/*~ Störungen bei Rast u. Brut, ggf. Habitatverlust. Durch div. Maßnahmen, z.B. Feintrassierung und entspr. Terminierung vermeidbar	--/*- Vogelschlag, Scheuchwirkung Habitatverlust u. zerschneidung möglich Verminderung v.a. durch Erdseilmarkierungen und Trassenmanagement	--/*- Auch nach Minderung ungünstige Auswirkungen
2 Fledermäuse	-/*~ Bei Rodung ggf. Tötung, Störung, Habitatverlust. Minderung möglich durch Umsiedlung, Bauzeitenregelung etc.	-/*+ Habitatverlust durch Schneisenfreihaltung, Minderung möglich. Geringe Schneisenbreite positiv, ggf. Zunahme an Lebensraumvielfalt	-/*+ Potenzielle Beeinträchtigungen sind i. Allg. verminderbar	-/*~ Bei Rodung ggf. Tötung, Störung, Habitatverlust. Minderung durch Umsiedlung, Bauzeitenregelung etc.	-/*~ Kein Kollisionsrisiko (Ultraschallorientierung) Deutlicher Habitatverlust durch 40 m - 70 m Schneise wenn nicht Waldüberspannung	-/*~ Potenzielle Beeinträchtigungen sind i. Allg. verminderbar
3 Sonstige geschützte Tierarten (soweit Vorkommen bekannt)	-/*~ Ggf. hohe Verluste in immobilen Stadien, Störung u. Habitatverlust durch z.B. Feintrassierung vermeidbar	~ Ggf. Beitrag zur Lebensraumvielfalt (z.B. Waldschneisen) aber auch Lebensraumverlust möglich	-/*~ Potenzielle Beeinträchtigungen, i. Allg. Minderung möglich	-/*+ Verluste in immobilen Stadien, Störung u. Habitatverlust durch z.B. Maststandortwahl vermeidbar	~ Ggf. Beitrag zur Lebensraumvielfalt (z.B. Waldschneisen) aber auch Lebensraumverlust möglich	-/*+ Potenzielle Beeinträchtigungen, i. Allg. Minderung möglich
4 Geschützte Pflanzen (soweit Vorkommen bekannt)	--/*- Zerstörung von Wuchstandorten aufgrund durchgehender Trasse möglich, Minderung möglich	~ Beeinträchtigungen durch Standortveränderungen (Wärme, Freihaltung) nur im Einzelfall beurteilbar	--/*~ I. Allg. hohe Eingriffsintensität insbes. Bauphase i. Allg. verminderbar	-/*~ Zerstörung von Wuchstandorten v.a. bei Mastbau, sonst Überspannung	+ Geringe Beeinträchtigung im Offenland, Standortverlust allenfalls im Wald	-/*+ I. Wald hohe Eingriffsintensität i. Allg. vermeidbar

(nach "/*" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 4: Schutzgebiete

SCHUTZGEBIETE	A ERDKABEL		B FREILEITUNGEN			
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
<p>1</p> <p>Streng geschützte Gebiete wie Naturschutzgebiete, Nationalparke, FFH-/EUV-Gebiete, Biosphärenreservate (Zone 1+2), RAMSAR-Gebiete, gesetzlich geschützte Biotope gem. § 30 BNatSchG</p>	<p>--/*-</p> <p>Grundsätzlich freizuhalten, wg. durchgängiger Bodenveränderung Verlust besonders schützenswerter Lebensräume. Nur in Ausnahmen Minderung möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>In Gehölzen bleibt 12-25 m Schneise. Freihaltung des Trassenkorridors ist Beeinträchtigung der Lebensräume. Nur in Ausnahmen Minderung möglich</p>	<p>--/*~</p> <p>Baulicher Eingriff wirkt über die Bauphase hinaus. Erhebliche Auswirkungen trotz Minimierungsmaßnahmen auf vergleichbar geringer Fläche</p>	<p>--/*-</p> <p>Grundsätzlich freizuhalten, wg. breiter Trasse u. kleinräumiger Bodenveränderung Verlust besonders schützenswerter Lebensräume. Nur in Ausnahmen Minderung möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>Durch dauerhafte Masten, Leitungsstränge u. wg. Freihaltung der in Gehölzen 40 m - 70 m breiten Schneise Beeinträchtigung der Lebensräume. Minderung durch Waldüberspannung u. Trassenmanagement eingeschränkt möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>Baulicher Eingriff wirkt über die Bauphase hinaus. Erhebliche Auswirkungen trotz Minimierungsmaßnahmen anlagebedingt u. damit dauerhaft auf vergleichbar großer Fläche</p>
<p>2</p> <p>Weniger streng geschützte Gebiete, insbes. Landschaftsschutzgebiete, Biosphärenreservate (Zone 3), Naturparke</p>	<p>--/*~</p> <p>Wg. durchgängiger Tiefbauarbeiten temporäre Beeinträchtigung besonders schützenswerter Landschaftsteile u. Lebensräume. Durch geeignete Maßnahmen Minderung möglich</p>	<p>-/*~</p> <p>In Gehölzen bleibt 12-25 m Schneise. Durch Freihaltung des Trassenkorridors in Gehölzen temporäre Beeinträchtigungen. Durch geeignete Maßnahmen. Minderung möglich</p>	<p>-/*~</p> <p>Baulicher Eingriff wirkt über die Bauphase hinaus. Negative Auswirkungen können minimiert werden. Nur geeignet unter bes. Umständen</p>	<p>--/*-</p> <p>Wg. Anlage breiter Trasse in Gehölzen Beeinträchtigung schützenswerter Landschaftsteile u. Lebensräume. Minderung ggf. eingeschränkt möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>Durch dauerhafte Masten, Leitungsstränge u. wg. Freihaltung der in Gehölzen 40 m - 70 m breiten Schneise Beeinträchtigung der Lebensräume. Minderung durch Waldüberspannung u. Trassenmanagement eingeschränkt möglich</p>	<p>Anlagebedingte Wirkungen dominieren gegenüber baubedingten. Erhebliche Auswirkungen trotz Minimierungsmaßnahmen</p>

(nach "/" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 5: Biotope

BIOTOPE	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
<p>1</p> <p>Feuchtgebiete (Hoch- und Niedermoore, Sümpfe, rezente Auen, Gewässerufer) sowie Trockenrasen und spez. Grünlandstandorte mit Gefährdungstatus 1-2</p>	<p>--/*-</p> <p>Lebensräume nach Eingriff durch Tiefbauarbeiten vielfach schwer bis kaum regenerierbar. Aufwendige Vermeidung durch Unterdrückung bis 1.200 m (Stand der Technik)</p>	<p>--/*-</p> <p>gegen Bodenerwärmung extrem sensible Lebensräume; Kabelgraben kann Wasserentzug ermöglichen. Vermeidung / Minderung eingeschränkt möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>Eher ungeeignet, Aufwendige Vermeidungsmaßnahmen in der Bauphase erforderlich.</p>	<p>-/*~</p> <p>Lebensräume nach Eingriff durch Mastbauarbeiten schwer bis kaum regenerierbar. Vermeidung durch Standortwahl bzw. Überspannung</p>	<p>-/*~</p> <p>Lebensräume durch Masten, Leitungsstränge u. ggf. Freihaltung breiter Schutzstreifen beeinträchtigt, jedoch im Offenland nur punktuell. Minderung eingeschränkt möglich</p>	<p>--/*~</p> <p>Im Offenland nach Minderung ggf. nur punktuell negative anlagebedingte Auswirkungen</p>
<p>2</p> <p>Gehölzbiotope mit Gefährdungstatus 1-2 (v.a. großräumige Misch- und Laubwaldbiotope)</p>	<p>--/*-</p> <p>Wg. Schädigung von Vegetation / Biotopverlust (insb. Kleinsäuger- und Vogellebensraum) vielfach schwer regenerierbar. Eingeschränkte Minderung möglich</p>	<p>-/*~</p> <p>Dauerhaft 12-25 m breite Schneise. Freihaltung des Trassenkorridors ist Beeinträchtigung. Durch geeignete Maßnahmen Minderung möglich</p>	<p>--/*~</p> <p>Dauerhafte Auswirkungen auf schmaler Trasse auch bei Minderungsmaßnahmen</p>	<p>--/*-</p> <p>Anlage und Freihaltung einer 40 m - 70 m breiten Schneise. Vermeidung allenfalls durch Waldüberspannung, Minderung durch Trassenmanagement nur eingeschränkt möglich</p>	<p>--/*-</p> <p>Dauerhafte Auswirkungen auf breiter Trasse auch bei Minderungsmaßnahmen</p>	
<p>3</p> <p>Ackerbaubiotope sowie Intensiv genutzte Grünlandbiotope außer Gefährdungstatus 1-2</p>	<p>+</p> <p>Bei ausreichender Vorsorge gegenüber Bodenverdichtung gute Regenerierbarkeit nach Bau und Verlegung</p>	<p>~/*+</p> <p>Besinträchtigungen durch Wärmeentwicklung bei angemessener konstruktiver Auslegung, Temperaturmonitoring etc. voraussichtlich vermeidbar</p>	<p>~/*+</p> <p>Abgesehen seltener örtlicher Auswirkungen bau- und anlage-/betriebsbedingt nur moderate Auswirkungen</p>	<p>++</p> <p>Keine spezifischen Restriktionen (avifaunistische Eignung gesondert prüfen)</p>	<p>++</p> <p>Abgesehen seltener örtlicher Auswirkungen bau- und anlage-/betriebsbedingt sehr gut geeignet</p>	

(nach "/" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 6: Boden

BODEN	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
<p>1</p> <p>Extrem nasse Böden (z.B. Hoch- und Niedermoore, Auenböden mit natürlichem Wasserhaushalt)</p>	<p>--/*~</p> <p>Hohe Gefährdung hinsichtlich irreversibler Schäden, v.a. durch Bodenverdichtung u. Versiegelung. Unterdükerung möglich aber aufwendig</p>	<p>--/*~</p> <p>Hoch sensibel gegenüber Wärme / Austrocknung u. Versiegelung. Bei Unterdükerung Vermeidung möglich, aber aufwendig</p>	<p>--/*~</p> <p>Hohe Gefährdung durch unterschiedliche Faktoren. Nur im Falle einer Unterdükerung zu umgehen</p>	<p>--/*~</p> <p>An Maststandorten Gefährdung v.a. durch Bodenverdichtung u. Versiegelung. Im Falle einer Überspannung sind Schäden vermindernbar</p>	<p>--/*~</p> <p>Durch Trassenfreihaltung ggf. Bodenverdichtung. Durch technische Maßnahmen vermindernbar</p>	<p>--/*~</p> <p>Überwiegend punktueller Eingriff (Masten) Verdichtung bei Trassierung vermindernbar</p>
<p>2</p> <p>Böden mit hoher natur- und kulturschichtlicher Bedeutung (z.B. Plaggenesche, Wölbu u. Terrassenäcker, Wurten, Heidepodsole, kultivierte Moore)</p>	<p>--/*~</p> <p>Veränderung der Bodenstruktur durch Umlagerung, Verdichtung, Versiegelung. Minderung durch erhöhte Bausorgfalt u. Trassenbündelung, z.B. entlang von Verkehrswegen möglich.</p>	<p>--/*~</p> <p>Nur bei geringer Versiegelung (nicht für aufwendige Nebenanlagen geeignet)</p>	<p>--/*~</p> <p>Baubedingte Wirkungen ggf. nicht regenerierbar. Vermeidungs- u. Minderungsmaßnahmen einzelfallspezifisch</p>	<p>--/*~</p> <p>Veränderung der Bodenstruktur nur punktuell (Masten) durch Umlagerung, Verdichtung, Versiegelung. Minderung durch erhöhte Bausorgfalt u. Trassenbündelung.</p>	<p>+</p> <p>Bei geringer Versiegelung (als Maststandort möglichst vermeiden)</p>	<p>--/*~</p> <p>Punktuelle baubedingte Wirkungen ggf. nicht regenerierbar. Vermeidung u. Minderung möglich</p>
<p>3</p> <p>"Seltene" Böden, z.B. Stauwasserböden, natürliche Moore, Stagnogley (soweit Vorkommen bekannt)</p>	<p>--/*~</p> <p>Hohe Gefährdung hinsichtlich irreversibler Schäden. Einzelfallprüfung, ggf. Unterdükerung</p>	<p>--/*~</p> <p>Unterschiedliche dauerhaft negative Auswirkungen auch nach Minderung u. Vermeidung möglich</p>	<p>--/*~</p> <p>Vorkommen i. Allg. kleinräumig. Außer Umgehung Mindestminderungspotenzial gering</p>	<p>--/*~</p> <p>Hohe Gefährdung hinsichtlich irreversibler Schäden. Ggf. durch Überspannung u. Maststandortwahl vermeidbar.</p>	<p>--/*~</p> <p>Nur unter Vermeidung direkter Inanspruchnahme geeignet (u.a. Wirkung der Trassenfreihaltung auf den Bodenwasserhaushalt?)</p>	<p>--/*~</p> <p>Vorkommen i. Allg. kleinräumig. Vermeidungspotenzial vorhanden</p>

(nach "/" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 7: Grundwasser, Oberflächengewässer

GRUNDWASSER, OBERFLÄCHENGWÄSSER	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Hoch anstehendes oder gespanntes Grundwasser (soweit frühzeitig bekannt)	--/*~ Ggf. Drainagewirkung durch Eingriff in Deckschichten, Vermeidung bauseits möglich	-/*~ Bei Reparaturen Beeinträchtigungen durch Bausorgfalt vermeidbar	-/*~ Ungünstige Voraussetzung, doch negative Auswirkungen können vermieden werden	-/*+ Ggf. Drainagewirkung durch Eingriff in Deckschichten, Vermeidung bauseits möglich	+	-/*+ Eingriff überwiegend punktuell an Maststandorten
2 Trinkwasserschutzgebiete Zonen I und II	--/*- Für umfangreiche Erdbau- und Wasserhaltungsmaßnahmen generell ungeeignet.	--/*- Bei Wartung und Reparatur Schadstoffeinträge möglich	--/*- Hohe Gefährdung trotz Minderungsmaßnahmen	--/*~ Baumaßnahmen generell ungeeignet. Durch Maststandortwahl ggf. vermeidbar	-/*~ Bei Wartung und Reparatur Schadstoffeinträge möglich (bspw. Mastbeschichtung)	-/*~ Gefährdung kann durch Minderungsmaßnahmen minimiert werden
3 Fließgewässer	-/*~ Wenig geeignet, weil oft ökologisch hochwertig. Verminderung durch temporäre Trockenlegung oder Unterdükerung	--/*- Empfindlichkeit gegenüber Wärmeentwicklung u. Minderungsmaßnahmen im Einzelfall prüfen	-/*- Im Einzelfall zu prüfen, ob und wie negative Auswirkungen vermieden werden können	-/*~ Beeinträchtigungen in Uferzone u. Gewässerbett durch Überspannung i. Allg. vermeidbar	-/*~ Überspannung erfordert ggf. höhere Masten (bei Prüfung der Landschaftsbildrelevanz zu berücksichtigen)	-/*~ Negative Auswirkungen durch Verwendung unbedenklicher Stoffe vermeidbar
4 Stillgewässer	-/*~ Wenig geeignet, weil oft ökologisch hochwertig. Verminderung durch temporäre Trockenlegung oder Unterdükerung	--/*- Sehr sensibel gegenüber Wärmeentwicklung; nur eingeschränktes Minderungspotenzial	--/*- Im Einzelfall zu prüfen, ob und wie negative Auswirkungen vermieden werden können	-/*~ Beeinträchtigungen in Uferzone u. Gewässerbett durch Überspannung i. Allg. vermeidbar	-/*~ Überspannung erfordert ggf. höhere Masten (bei Prüfung der Landschaftsbildrelevanz zu berücksichtigen)	-/*~ Negative Auswirkungen durch Verwendung unbedenklicher Stoffe vermeidbar

(nach "/" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com

Bewertungstabelle 8: Kulturgüter, sonst. Sachgüter

KULTURGÜTER, SONST. SACHGÜTER	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Geschützte Kultur- u. Naturdenkmäler Nahzone (bis ca. 220 m)	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Komplikationen bei Bodenfunden u. Bodendenkmälern möglich	+	-/*+ Gute Eignung, da geringe Beeinträchtigungen	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. vermindern	-	- Ungeeignet aufgrund unvermeidlicher Umfeldstörung
2 Geschützte Kultur- u. Naturdenkmäler Mittelzone (ca. 220 m - 1.100 m)	-/*+ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. vermindern	++	-/*++ Sehr gute Eignung, da geringe Beeinträchtigungen	-/*~ Baumaßnahmen sind i. Allg. eine zumutbare Beeinträchtigung. Z.T. vermeid- u. vermindern	-/*~	-/*~ Eignung im Einzelfallentscheid, Minderungsmaßnahmen möglich
3 Sonst. Bauwerke Nahzone (bis ca. 220 m)	+	~	~ Einzelfallentscheidung	+	~	~ Einzelfallentscheidung

(nach "/>" = inkl. mögl. Vermeidung oder Verminderung). Quelle: OECOS GmbH - www.oecos.com



Anhang II:

Tabellen Technisch-Wirtschaftlicher

Kriterienkatalog

1.1 Verbreitung, Betriebserfahrung, Nutzungsdauer und Entwicklungsstand

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	
Verbreitung	<ul style="list-style-type: none"> mehr als 99,7 % der 380- und 220-kV-Leitungen im deutschen Übertragungsnetz 	<ul style="list-style-type: none"> weniger als 0,3 % der 380- und 220-kV-Leitungen im deutschen Übertragungsnetz 	<ul style="list-style-type: none"> VSC-HGÜ mit VPE-Kabel noch kein Einsatz im vermaschten Übertragungsnetz bislang Einsatz als Punkt-zu-Punkt-Verbindung und zur Kopplung asynchroner Netze (z. B. als Seekabelverbindung) oder für den Netzanschluss von Offshore-Windparks
Betriebserfahrung	<ul style="list-style-type: none"> langjährige Betriebserfahrung 380-kV-Freileitungen seit 60 Jahren in Deutschland im Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> nur wenige kurze (< 22 km) Abschnitte seit 1986 in Betrieb keine Langzeiterfahrungen 	<ul style="list-style-type: none"> VSC-HGÜ seit 2002 mit ± 150 kV im Einsatz ± 320 kV laut Hersteller seit 2010 verfügbar, noch keine realisierten Projekte keine Langzeiterfahrungen
Nutzungsdauer	<ul style="list-style-type: none"> hohe Nutzungsdauer (> 80 Jahre) gute Durchführbarkeit von die Nutzungsdauer verlängernden Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzungsdauer wird auf mindestens 40 Jahre geschätzt, es sind jedoch noch keine Langzeiterfahrungen vorhanden kaum Möglichkeiten zur Durchführung von die Nutzungsdauer verlängernden Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> Kabel: wie Drehstrom-Kabel Konverter: Nutzungsdauer laut ABB 50-60 Jahre
Entwicklungsstand	<ul style="list-style-type: none"> ausgereifte, bewährte Technik keine Entwicklungsprünge zu erwarten 	<ul style="list-style-type: none"> ausgereifte, bewährte Technik keine Entwicklungsprünge zu erwarten 	<ul style="list-style-type: none"> bewährte Technik weitere Verlustreduzierungen, größere Übertragungsleistungen durch höhere Gleichspannungen und höhere Verfügbarkeit zu erwarten

1.2 Aufbau und Isolierung

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	
Aufbau	<ul style="list-style-type: none"> • einfacher, aber aufgrund der großen Isolationsabstände zwischen den Leitern und der Erde breiter und hoher Aufbau 	<ul style="list-style-type: none"> • fester Isolierstoff VPE ermöglicht sehr kleine Isolationsabstände und dadurch kompakte Anordnung • komplizierter Aufbau aufgrund mehrerer Leitschichten, Kabelschirm, Quer- und Längswassersperrern und äußerer Hüllen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel • Konverterstationen am Anfang und Ende sowie an den Abgängen beim Multi-Terminal-Betrieb
Isolierung	<ul style="list-style-type: none"> • nicht alternde, nach Durchschlägen selbstheilende Luftisolierung mit hoher elektrischer Festigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • alternde VPE-Isolierung, Alterung abhängig von elektrischer und thermischer Belastung, VPE-Isolierung mit hohen Anforderungen an Reinheit und Wasserdichtigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel



1.3 Errichtung, Legung und Querungen

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	
Errichtung und Legung	<ul style="list-style-type: none"> • alle 300 – 400 m Mast mit Fundament erforderlich • flexible Anpassung an Landschaft durch Wahl der Maststandorte, Mastform, Mastart und Spannweite • Entfernung von hochwachsendem Bewuchs auf dem Schutzstreifen • temporäre Zuwegung, je nach Baugrund ggf. auch Baustraße erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Legung in Gräben, ggf. mit Schutzrohr, oder Tunnelbauweise (offene oder geschlossene Bauweise) • Grabentiefe 1,75 m, Trassenbreite während Bauphase mindestens 27 m (für 4 Kabelsysteme) • alle 600-900 m Muffengrube oder Muffenbauwerk • Einsatz von thermisch stabilisiertem Bettungsmaterial (Magerbeton, Sand-Kies-Gemische) • Transportbedarf für Bodenaushub und Bettungsmaterial • Schwerversporte (Trommelgewicht 40 t) erforderlich • Baustraße mit fester Deckung erforderlich • ggf. Wasserhaltung während Bauphase notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel
Querungen	<ul style="list-style-type: none"> • Querung von Verkehrswegen, Gewässern durch Überspannung 	<ul style="list-style-type: none"> • Querung von Gewässern und größeren Straßen mit Bohrpressverfahren oder HDD-Bohrung 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel

1.4 Betriebsverhalten

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	VSC-HGÜ mit VPE-Kabel
Übertragungsleistung	<ul style="list-style-type: none"> • sehr hohe Übertragungsleistung durch gute Wärmeabführung • Übertragungsleistung begrenzt durch minimalen Bodenabstand und Längsspannungsabfall, aber ausreichend für Trassenlängen im europäischen Übertragungsnetz • bei günstigen Umgebungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Umgebungstemperatur, Globalstrahlung) deutlich erhöhte Belastbarkeit (Leiteseilmonitoring) 	<ul style="list-style-type: none"> • Übertragungsleistung begrenzt durch: <ul style="list-style-type: none"> ○ thermische Bodenwiderstände ○ kapazitive Ladeströme • ähnlich hohe Übertragungsleistung wie Freileitung nur mit mehreren parallelen Kabeln und durch thermische Bettung, Cross-Bonding und Kompensation erreichbar • bei mehreren Systemen im selben Graben geht die Belastbarkeit zurück • bei günstigen Umgebungsbedingungen erhöhte Belastbarkeit (Temperaturmonitoring) 	<ul style="list-style-type: none"> • Übertragungsleistung begrenzt durch: <ul style="list-style-type: none"> ○ thermische Bodenwiderstände ○ installierte Konverterleistung • ähnliche hohe Übertragungsleistung wie Freileitung nur mit mehreren parallelen Systemen und durch thermische Bettung erreichbar • bei mehreren Systemen im selben Graben geht die Belastbarkeit zurück.
Überlastbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • gut überlastbar durch ausreichende Leistungsreserve • begrenzt durch Entfestigung der Leiterseile und Einhaltung des zulässigen Durchhanges bei längerer Überschreitung der maximal zulässigen Leitertemperatur von 80°C 	<ul style="list-style-type: none"> • je nach Vorbelastung nur kurzzeitig überlastbar • maximal zulässige Leitertemperatur von 90°C muss eingehalten werden, um vor-schnelle Alterung oder Beschädigung der Isolation zu vermeiden 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel • Konverterstationen nur geringfügig und sehr kurzzeitig im Sekundenbereich überlastbar

<p>Impedanz / Leistungsaufteilung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Leistungsaufteilung entsprechend der Impedanzen im Netz • Impedanzbelag passend zum freileitungsdominierten HÖS-Netz 	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Leistungsaufteilung entsprechend der Impedanzen im Netz • Impedanzbelag passend zum freileitungsdominierten HÖS-Netz 	<ul style="list-style-type: none"> • automatische Leistungsaufteilung entsprechend der Impedanzen im Netz • geringere Impedanz als Freileitung, ggf. Installation von Anpassungsdrosselspulen notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • ständige Regelung der Anlage erforderlich • Leistungsflusssteuerung möglich, da Leistungsfluss durch Regelung vorgegeben wird
<p>Blindleistungsbedarf</p>	<ul style="list-style-type: none"> • im Schwachlastbetrieb kapazitiver, im Starklastbetrieb induktiver Blindleistungsbedarf • auch im Leerlauf nur geringer kapazitiver Blindleistungsbedarf, daher erst ab sehr großen Längen Installation von Kompensationsdrosselspulen erforderlich • bei Vollast hoher Bedarf an induktiver Blindleistung, daher bei sehr großen Längen Längskompensation mit Reihenkompensatoren erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • im gesamten Betriebsbereich hoher kapazitiver Blindleistungsbedarf • etwa 17-fach größerer Ladestrom und kapazitiver Blindleistungsbedarf als Freileitung • hoher kapazitiver Blindleistungsbedarf macht schon bei kurzen Leitungslängen die Installation von Kompensationsdrosselspulen erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Blindleistung kann abhängig vom Betriebspunkt an beiden Enden der VSC-HGÜ in weiten Grenzen eingestellt werden • spannungsstützende Eigenschaften für das Netz • Blindleistungskompensation nicht erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> • Blindleistung kann abhängig vom Betriebspunkt an beiden Enden der VSC-HGÜ in weiten Grenzen eingestellt werden • spannungsstützende Eigenschaften für das Netz • Blindleistungskompensation nicht erforderlich
<p>Beitrag zur Netzstabilität</p>	<ul style="list-style-type: none"> • natürliche Erhöhung der Netzstabilität durch Verstärkung der synchronen Kopplung zwischen den Generatoren 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Freileitung 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Freileitung 	<ul style="list-style-type: none"> • asynchrone Netzkupplung, künstliche Erhöhung der Netzstabilität theoretisch möglich
<p>Leistungsauskopplung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Leistungsauskopplung und Spannungstransformation über Transformatoren im Umspannwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Freileitung 	<ul style="list-style-type: none"> • Umweg über HDÜ und Multi-Terminal-Betrieb • zusätzliche Konverterstationen und Umspannwerk notwendig • Gleichstrom-Leistungsschalter erforderlich (noch nicht verfügbar) 	<ul style="list-style-type: none"> • Umweg über HDÜ und Multi-Terminal-Betrieb • zusätzliche Konverterstationen und Umspannwerk notwendig • Gleichstrom-Leistungsschalter erforderlich (noch nicht verfügbar)

1.5 Fehlergeschehen und Schutz

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	
Schutz- und Sekundärtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Schutztechnik passend zu üblichem Netzschutz im HöS-Netz • Automatische Wiedereinschaltung (AWE) möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutztechnik passend zu üblichem Netzschutz im HöS-Netz • bei Zwischenverkabelung zus. Differentialschutz notwendig • kein Einsatz der AWE möglich • ggf. Teilentladungsüberwachung an Muften 	<ul style="list-style-type: none"> • einfacher Schutz der Kabel durch schnelle Abregelung der Konverter • keine Schutztechnik für vermaschte Gleichstromnetze verfügbar
Fehlverhalten, Nichtverfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • kurze Reparaturdauer • höchste Verfügbarkeit, da die meisten Fehler Lichtbogenfehler ohne Folgen sind 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehler sind immer mit Kabelschäden verbunden • lange Reparaturdauern führen zu geringerer Verfügbarkeit als bei Freileitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringste Verfügbarkeit bereits durch regelmäßige Wartung der Konverterstationen bedingt • für störungsbedingte Ausfälle noch keine statistischen Auswertungen verfügbar
Spannungsstützung bei Kurzschlüssen im Netz	<ul style="list-style-type: none"> • guter Beitrag zur Spannungsstützung durch geringe Impedanz unter Beachtung der Kurzschlussfestigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • guter Beitrag zur Spannungsstützung durch geringere Impedanz als Freileitung unter Beachtung der Kurzschlussfestigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • ungenügender Beitrag zur Spannungsstützung, da nur geringfügiger Beitrag zum Kurzschlussstrom zugelassen werden kann

1.6 Flächenbedarf und Emissionen

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)		Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)
	380-kV-Freileitung	380-kV-VPE-Kabel	VSC-HGÜ mit VPE-Kabel
Flächenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • breite Trasse (Schutzstreifen ca. 70 m), die von Bäumen freigehalten werden muss • landwirtschaftliche Nutzung und Bebauung des Schutzstreifens ist unter bestimmten Voraussetzungen zulässig 	<ul style="list-style-type: none"> • geringerer Flächenverbrauch als bei Freileitung. Je nach Anzahl der installierten Systeme ist ein Schutzstreifen (hier ca. 13 -21 m bei vier Systemen) von tiefwurzelnden Pflanzen über der Kabeltrasse freizuhalten • landwirtschaftliche Nutzung ist unter bestimmten Voraussetzungen zulässig • zusätzlicher Platzbedarf durch regelmäßig zu errichtende Kompensationsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • geringerer Flächenverbrauch als bei Drehstrom-Freileitung und -Kabel. Je nach Anzahl der installierten Systeme ist ein Schutzstreifen (hier ca. 11-20 m bei vier Systemen) von tiefwurzelnden Pflanzen über der Kabeltrasse freizuhalten • landwirtschaftliche Nutzung ist unter bestimmten Voraussetzungen zulässig • zusätzlicher Platzbedarf für Konverterstationen (jeweils 90 m × 40 m für 1000 MW)
akustische Emissionen	<ul style="list-style-type: none"> • Brumm- und Knistergeräusche durch Korona-Entladungen in unmittelbarer Leitungsumgebung 	<ul style="list-style-type: none"> • Geräuschenentwicklung im Bereich von Kompensationsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geräuschenentwicklung im Bereich der Konverterstationen

<p>Elektrische Felder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • niederfrequente elektrische Felder von Betriebsspannung, Mastkopfbild und Aufhängehöhe der Leiterseile abhängig • maximale elektrische Feldstärke kann im Nahbereich und bei großem Durchhang größer als Grenzwert von 5 kV/m werden • Reduzierung der elektrischen Felder durch höhere Aufhängehöhe und/oder Reduktion des Seildurchhangs möglich • bei Einhaltung der ENLAG-Vorsorgeabstände liegt die elektrische Feldstärke im Bereich der bei Haushaltsgeräten auftretenden elektrischen Feldstärken 	<ul style="list-style-type: none"> • kein äußeres elektrisches Feld 	<ul style="list-style-type: none"> • kein äußeres elektrisches Feld
----------------------------------	--	--	--



<p>Magnetische Felder</p>	<ul style="list-style-type: none"> •niedrigerfrequente magnetische Flussdichte vom Strom, Mastkopfbild und Aufhängehöhe der Leiterseile abhängig •maximale magnetische Flussdichte auch im Nahbereich der Freileitung deutlich unter dem Grenzwert von 100 µT •Reduzierung der magnetischen Induktion durch höhere Aufhängehöhe und/oder Reduktion des Seildurchhangs möglich •bei Einhaltung der ENLAG-Vorsorgeabstände liegt die magnetische Flussdichte im Bereich der bei Haushaltsgeräten auftretenden magnetischen Felder 	<ul style="list-style-type: none"> •niedrigerfrequente magnetische Flussdichte vom Strom, Legeanordnung und Legetiefe abhängig •maximale magnetische Flussdichte höher als bei Freileitung •magnetische Flussdichte nimmt schneller mit steigender Entfernung von der Leitungstrasse ab als bei der Freileitung •Reduzierung der magnetischen Flussdichte durch tiefere Legung sowie durch Schirmung und andere Maßnahmen möglich •bei Einhaltung der ENLAG-Vorsorgeabstände liegt die magnetische Flussdichte im Bereich der bei Haushaltsgeräten auftretenden magnetischen Flussdichte 	<ul style="list-style-type: none"> •magnetisches Gleichfeld •maximale magnetische Flussdichte liegt im Bereich des Erdmagnetfeldes
<p>Wärmeeintrag in den Erdboden</p>	<ul style="list-style-type: none"> •kein Wärmeeintrag in den Erdboden 	<ul style="list-style-type: none"> •Temperaturerhöhung im Erdboden abhängig von: <ul style="list-style-type: none"> ○ Querschnitt und Leitermaterial ○ Legeanordnung ○ thermischen Bodenwiderständen ○ Umgebungstemperatur ○ Übertragungsleistung •Minderung durch thermisch stabilisiertes Bettungsmaterial und ggf. passive oder aktive Kühlung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Drehstrom-Kabel



1.7 Übertragungsverluste

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)						Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)				
	380-kV-Freileitung			380-kV-VPE-Kabel			VSC-HGÜ mit VPE-Kabel				
Verlustleistungsarten	<ul style="list-style-type: none"> • stromabhängige Verluste • spannungsabhängige Verluste • bei sehr langen Strecken Kompensationsverluste 										
	bezogene Jahresverlustarbeit und Verlustkosten in %	Länge in km	50	100	200	500	50	100	200	500	
			1000 MW	1,0	1,0	1,0	1,0	2,83	2,70	2,71	2,53
			2000 MW	1,0	1,0	1,0	1,0	1,73	1,65	1,65	1,62
		Leistungs	3000 MW	1,0	1,0	1,0	1,03	0,99	0,99	0,96	
Verlustbewertung	<ul style="list-style-type: none"> • niedrigste Jahresverlustarbeit (Ausnahme: Leistungsübertragung von 3000 MW über 500 km) 			<ul style="list-style-type: none"> • durch hohe spannungsabhängige Verluste und Kompensationsverluste zwei- bis dreimal höhere Jahresverlustarbeit als Freileitung • nur für hohe Übertragungsleistungen niedrigere Jahresverlustarbeit als Freileitung 			<ul style="list-style-type: none"> • höchste Jahresverlustarbeit • durch hohe Konverterverluste bis zu Faktor 15 (bei 50 km und 1000 MW) höhere Jahresverlustarbeit als Freileitung • Vorteile gegenüber HDÜ-Freileitung nur für große Übertragungsleistungen (3000 MW) und -längen ab 500 km • Vorteile gegenüber HDÜ-Kabel nur für große Übertragungslängen (500 km) 				

1.8 Wirtschaftlichkeit

Kriterium	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung (HDÜ)				Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)									
	380-kV-Freileitung		380-kV-VPE-Kabel		VSC-HGÜ mit VPE-Kabel		VSC-HGÜ mit VPE-Kabel							
Investitionskosten	• geringste Investitionskosten		<ul style="list-style-type: none"> • erheblich höhere Investitionskosten als Freileitung (Kostenfaktoren im Bereich von 2,8 bis 7,3) • je nach Übertragungsleistung bis etwa 100-250 km geringere Investitionskosten als VSC-HGÜ mit Kabel 		<ul style="list-style-type: none"> • erheblich höhere Investitionskosten als Freileitung (Kostenfaktoren im Bereich von 2,2 bis 15,2) • je nach Übertragungsleistung bis etwa 100-250 km höhere Investitionskosten als Drehstrom-Kabel 		<ul style="list-style-type: none"> • je nach Übertragungsleistung bis etwa 130-280 km wirtschaftlicher als Drehstrom-Kabel 							
Wartungskosten	<ul style="list-style-type: none"> • Wartungskosten durch: <ul style="list-style-type: none"> ◦ regelmäßige Begehung ◦ Trassenfreihaltung ◦ regelmäßigen Korrosionsschutz (ca. alle 25-30 Jahre) 		<ul style="list-style-type: none"> • Wartungskosten durch: <ul style="list-style-type: none"> ◦ regelmäßige Begehung ◦ Trassenfreihaltung ◦ Wartung der Kompensationsanlagen 		<ul style="list-style-type: none"> • Wartungskosten durch: <ul style="list-style-type: none"> ◦ regelmäßige Begehung ◦ Trassenfreihaltung ◦ Wartung der Konverterstationen 		<ul style="list-style-type: none"> • je nach Übertragungsleistung für Längen ab etwa 130-280 km wirtschaftlicher als Drehstrom-Kabel 							
Gesamtkostenfaktoren im Vergleich zur Freileitung	Länge in km	50	100	200	500	50	100	200	500					
		1000 MW		1,0	1,0	1,0	1,0	2,83	2,83	2,76	8,81	5,16	3,34	2,20
		2000 MW		1,0	1,0	1,0	1,0	4,17	4,17	4,17	4,10	8,88	5,14	3,28
3000 MW		1,0	1,0	1,0	1,0	3,85	3,85	3,85	3,60	9,40	5,44	3,46	2,12	
Gesamtwirtschaftlichkeit	• für alle untersuchten Varianten beste Gesamtwirtschaftlichkeit		• je nach Übertragungsleistung für Längen bis etwa 130-280 km wirtschaftlicher als VSC-HGÜ mit Kabel		• je nach Übertragungsleistung für Längen ab etwa 130-280 km wirtschaftlicher als Drehstrom-Kabel		• je nach Übertragungsleistung für Längen ab etwa 130-280 km wirtschaftlicher als Drehstrom-Kabel							

<p>Zusatzkosten durch zusätzliche Abgänge entlang der Leitungstrasse</p>	<ul style="list-style-type: none">• Zusatzkosten für zusätzliches Umspannwerk mit zwei Transformatoren und Schaltfeldern	<ul style="list-style-type: none">• wie Freileitung	<ul style="list-style-type: none">• Zusatzkosten für<ul style="list-style-type: none">◦ zusätzliche Konverterstationen mit zwei Transformatoren und Schaltfeldern◦ DC-Leistungsschalter (noch nicht verfügbar) in allen Konverterstationen der Multi-Terminal-HGÜ
---	--	---	--





Anhang III:
Empfehlungsliste Recht

<u>Abschnitt</u>	<u>Empfehlung</u>
Struktur des Rechtsrahmens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die vierstufige Regelungsstruktur des geltenden Rechtsrahmens – Ermittlung des Netzausbaubedarfs, Festlegung des Trassenkorridors, Zulassung des Leitungsbauvorhabens, Kostenanerkennung – ist grundsätzlich beizubehalten. Sie ist aufgrund unterschiedlicher Prüfungsgegenstände sachlich angemessen. ▪ Klargestellt werden sollte die grundsätzliche Bindung der Bundesnetzagentur bei der Kostenanerkennung an die Entscheidungen auf Ebene der Raumordnung bzw. Planfeststellung. ▪ Einführung einer Einvernehmensregelung zwischen Planungs- bzw. Genehmigungsbehörde und Bundesnetzagentur für Vorgaben zur Technologiewahl (Frei- oder Erdleitung, Dreh- oder Gleichstromübertragung). ▪ Prüfung von Vorgaben zur Technologieauswahl auf Ebene der Bedarfsprüfung, um weitere Verfahren zu entlasten. ▪ Eine Verknüpfung der Ermittlung des Netzausbaubedarfs und der Festlegung der Trassenkorridore in einheitlichen Verfahren ist nicht zu empfehlen. ▪ Die Bedarfsplanung sollte über den bisherigen Detaillierungsgrad hinaus ausgedehnt werden und könnte u.a. Netzverknüpfungspunkte sowie die Anbindung von Umspannwerken, Kraftwerken oder Speichern einbeziehen, soweit hierfür wichtige energiewirtschaftliche Gründe bestehen.

	<p>Ermittlung des Netzausbaubedarfs</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ In den EnLAG-Bedarfsplan sollten keine neuen Vorhaben mehr aufgenommen werden, eine gesonderte Bedarfsprüfung nach § 3 EnLAG sollte entfallen. ▪ Die Sonderregelungen des EnLAG zur gerichtlichen Kontrolle und zur Erdverkabelung können, soweit erforderlich, im EnWG oder ggf. im NABEG verankert werden. ▪ Der Bundesbedarfsplan sollte möglichst detailliert ausgestaltet werden und die energiewirtschaftlichen Anforderungen an die Durchführung von Netzausbauvorhaben in einem bestimmten räumlichen Bereich erfassen. Damit würde eine klarere Abgrenzung zu der anschließend erforderlichen Abwägung mit anderen Nutzungsansprüchen an den Raum ermöglicht. ▪ Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Netzausbaubedarfs sollte auf Bundesebene auch die technologische Ausführung als Frei- oder Erdleitung bzw. als Dreh- oder Gleichstromverbindung geprüft und ggf. vorgegeben werden. Dies rechtfertigt sich insbesondere aus den Rückwirkungen auf die Funktion des Höchstspannungsnetzes und aus den länderübergreifenden kostenmäßigen Auswirkungen.
<p>Festlegung der Trassenkorridore</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jedenfalls bei umstrittenen Leitungsbauvorhaben ist die Festlegung von Vorranggebieten für Leitungstrassen nicht geeignet, ein Raumordnungsverfahren zu ersetzen. ▪ Nach Abschluss eines Raumordnungsverfahrens ist die Ausweisung eines Vorranggebietes für die Leitungstrasse wünschenswert, um den ermittelten Trassenkorridor freizuhalten. ▪ Das Gebot der Nutzung bestehender Stromtrassen sollte in den Raumordnungsplänen ausdrücklich festgeschrieben werden. Gleichzeitig sollte erläuternd klargestellt werden, dass kleinräumige Abweichungen vom vorhandenen Trassenverlauf nicht ausgeschlossen sind.



<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebenso sollte in den Raumordnungsplänen ausdrücklich festgeschrieben werden, dass eine Bündelung von Stromleitungen, ggf. verbunden mit dem Rückbau alter Leitungen, vorzuziehen ist. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für Höchstspannungserdleitungen sollte in den Raumordnungsplänen ausdrücklich festgeschrieben werden, dass eine Bündelung mit anderen unterirdisch verlegten, linienförmigen Infrastrukturen vorzunehmen ist. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ In den drei vorstehend genannten Fallgestaltungen sollte jeweils geprüft werden, ob auf ein gesonderter Raumordnungsverfahren verzichtet werden kann. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hinsichtlich der Prüfung des Ausbaubedarfs für die konkrete Leitung kann nicht überzeugend auf ein nachfolgendes Planfeststellungsverfahren verwiesen werden. Vielmehr ist eine transparente und sachlich überzeugende Bedarfsermittlung im Vorfeld erforderlich, wie sie das Energiepaket 2011 nunmehr vorsieht. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Da die Bedarfsermittlung durch die Bundesnetzagentur überprüft worden ist, sollte diese den Netzausbaubedarf im Rahmen des Raumordnungsverfahrens nachvollziehbar darstellen. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Planungsbehörde sollte in Raumordnungsverfahren bei der Auswahl der zu prüfenden Korridoralternativen eine aktivere Rolle einnehmen als in der Regel bei anderen Infrastrukturvorhaben öffentlicher Vorhabenträger der Fall. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Im Raumordnungsverfahren muss eine effektive Beteiligungsmöglichkeit für die Betroffenen bestehen. Dies setzt insbesondere den leichten Zugang zu den Planungsunterlagen voraus. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Im Rahmen des Raumordnungsverfahrens müssen die jeweiligen Gegenstände und Funktionen von Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren verdeutlicht und voneinander abgegrenzt werden. Dies kann insbesondere durch Beispiellisten von Einwendungen geschehen, die typischerweise Gegenstand des Raumordnungsverfahrens oder des Planfeststellungsverfahren sind. 	



<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdeutlicht werden muss, dass die konstruktive Beteiligung an der Festlegung des Trassenkorridors im Raumordnungsverfahren (sowie etwaiger weiterer dort behandelter Beurteilungen) zielführender ist als die Zurückhaltung bis zum Planfeststellungsverfahren. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einwendungen zu Detailfragen, die nicht Gegenstand des Raumordnungsverfahrens sind, sollten gesammelt und später für das Planfeststellungsverfahren zur Verfügung gestellt werden. Zusätzlich könnte ein Beauftragter für Fragen des Planfeststellungsverfahrens benannt werden, der bereits im Rahmen des Raumordnungsverfahrens beratend zur Verfügung steht. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auch soweit eine formalisierte UVP im Raumordnungsverfahren nicht originär vorgeschrieben ist (Erdleitungen), ist ihre Durchführung empfehlenswert, um die Abschichtungswirkung des § 16 Abs. 2 UVPG in Anspruch nehmen zu können. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die im Landesrecht teilweise vorgesehene kleinräumige Beurteilung der Umweltauswirkungen bereits im Rahmen der raumordnerischen UVP sollte überdacht werden. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soweit die Auswahlentscheidung zwischen Frei- oder Erdleitung nicht bereits auf der Ebene der Bedarfsermittlung getroffen wird, sollte die raumordnerische Beurteilung auf den für eine Erdverkabelung in Betracht kommenden Abschnitten zu beiden Möglichkeiten Stellung nehmen. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine abschließende Auswahlentscheidung für Erdverkabelung auf der Ebene der Raumordnung ist sehr problematisch. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Bundesnetzagentur sollte aus Akzeptanzgründen eine klare organisatorische Trennung zwischen den Bereichen „Bedarfsplanung“ und „Bundesfachplanung“ vorsehen. 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es sollte klargestellt werden, dass die Bundesfachplanung nach §§ 4 ff. NABEG auch auf HGÜ-Leitungen mit weniger als 380 kV Anwendung finden kann, sofern eine solche Spannung für ein Pilotprojekt nach § 12e Abs. 3 EnWG in Betracht kommen sollte. 	

<p>Zulassung der Leitungsbauvorhaben, insbesondere des konkreten Leitungsverlaufs</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei der Nutzung bestehender Trassen bzw. der Bündelung von Höchstspannungsleitungen mit anderen linienförmigen Infrastrukturen sollte geprüft werden, ob bei der Erstellung der Antragsunterlagen auf vorhandene Unterlagen aus früheren Genehmigungsverfahren zurückgegriffen werden kann. ▪ Die Neuregelung des § 2 Abs. 2 S. 1 EnLAG lässt sich dahingehend verstehen, dass die Länge des Verkabelungsabschnittes grundsätzlich nicht von der Genehmigungsbehörde vorgegeben werden kann. Aus besonderen Gründen kann aber im Rahmen der Variantenprüfung eine weitergehende Erdverkabelung vorzugswürdig sein. ▪ Zur Vermeidung von Streitigkeiten könnte normiert werden, dass bei Vorliegen der Voraussetzungen nach § 2 Abs. 1 und 2 EnLAG bzw. § 12e Abs. 3 EnWG die Planunterlagen auch die Alternative der Erdverkabelung behandeln müssen. ▪ Zu erwägen ist die Einführung eines Vorsorge-Höchstwertes für die maximale Bodenerwärmung durch Höchstspannungskabel im Rahmen einer Immissionsschutzverordnung. Ein solcher Wert könnte etwa bei 5 K in 50 cm unter der Erdoberkante liegen, sollte aber hinsichtlich einer weiteren Ausdifferenzierung, etwa in Abhängigkeit von den verschiedenen Bodentypen, näher geprüft werden. ▪ § 43 S. 1 Nr. 3 EnWG (Anbindung von Offshore-Anlagen) ist dahingehend zu verstehen, dass er ein Planfeststellungsverfahren für HGÜ-Erdleitungen in Fortführung eines HGÜ-Seekabels zulässt. ▪ Es sollte klargestellt, werden, dass § 2 Abs. 3 EnLAG ein Planfeststellungsverfahren nur für die Drehstrom-Teilverkabelung, nicht aber für HGÜ-Teilverkabelung vorsieht. ▪ Entschädigungszahlungen an nur mittelbar beeinträchtigte Bürger werden nicht empfohlen.
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Streitigkeiten über den Umfang naturschutzrechtlicher Ausgleichszahlungen sollte die endgültige Klärung aus Gründen der Verfahrensbeschleunigung durch einen Auflagenvorbehalt aus dem Planfeststellungsbeschluss herausgelöst und einer ergänzenden Entscheidung vorbehalten werden. ▪ Finanzielle Ausgleichsleistungen für vom Leitungsbau betroffene Kommunen können den Netzausbau beschleunigen. Geprüft werden sollten Vorgaben zur Mittelverwendung durch die Kommune, die den Einwohnern die finanziellen Vorteile bewusst machen und unmittelbare Vorteile für eine größere Anzahl der betroffenen Einwohner gewährleisten.
Kostenanerkennung in der Anreizregulierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ § 23 Abs. 1 S. 2 Nr. 9 ARegV ist dahingehend zu verstehen, dass er Investitionsbudgets für HGÜ-Erdleitungen nur in Ausnahmefällen vorsieht, etwa bei einer begrenzten Fortführung von Seekabeln oder grenzüberschreitenden Erdleitungen als Erdkabel. Dies sollte vom Gesetzgeber klargestellt werden. ▪ § 23 Abs. 1 S. 2 Nr. 5 ARegV ist dahingehend zu verstehen, dass er Investitionsbudgets für HGÜ-Erdleitungen in Fortführung eines HGÜ-Seekabels zulässt. ▪ Es sollte klargestellt werden, dass § 23 Abs. 1 S. 2 Nr. 6 ARegV i. V. m. § 2 Abs. 1 EnLAG Investitionsbudgets nur für die Drehstrom-Teilverkabelung bei den vier EnLAG-Erdkabelpilotvorhaben, nicht aber für eine HGÜ-Teilverkabelung vorsieht.





