

# Auswirkungen verschiedener Erdkabelsysteme auf Natur und Landschaft

„EKNA“ (FKZ 3514 82 1600)

**Dr. Peter Ahmels  
Ole Brandmeyer  
Dr. Elke Bruns  
Judith Grünert  
Ulrike Voß**



**Autorinnen und Autoren:**

Dr. Peter Ahmels

Hackescher Markt 4  
10178 Berlin  
info@duh.de

Dr. Elke Bruns

Hochwildpfad 47  
14169 Berlin  
bruns@i-ner.de



**Fachbetreuung im BfN:**

Friedhelm Igel

Bundesamt für Naturschutz  
FG II 4.3, Naturschutz und erneuerbare Energien  
04277 Leipzig  
friedhelm.igel@bfn.de

## **Vorwort**

Parallel zum fortschreitenden Ausbau der erneuerbaren Energien wird der Ausbau der Stromnetze notwendig, um Erzeugungskapazitäten zu den Verbrauchsstandorten zu transportieren und evtl. Versorgungslücken über den Stromtransport ausgleichen zu können.

Der Stromtransport erfolgte im deutschen Höchstspannungsnetz bisher hauptsächlich über Freileitungen als Wechselstromübertragung. Technische Entwicklungen ermöglichen inzwischen im Höchstspannungsbereich sowohl auf der Dreh- als auch auf der Gleichstromebene die Stromübertragung über Erdkabel.

Im Zusammenhang mit den aktuellen Netzausbauvorhaben in Deutschland kommt es vonseiten Betroffener immer wieder zur Forderung nach der Erdverkabelung der Stromtrassen. Als Gründe hierfür werden hauptsächlich die Beeinträchtigungen des Wohnumfelds, die bedrängende Wirkung der Leitungen als auch evtl. Auswirkungen durch elektrische und magnetische Felder angeführt. Aus Naturschutzsicht stellen Freileitungen eine Beeinträchtigung von Naturschutzbelangen dar, da die Trassen zu einer Veränderung des Landschaftsbilds beitragen und zu Vogelkollisionen mit den Erdseilen führen.

Ziel des Vorhabens war es die mit dem Stromnetzausbau durch Erdkabel verbundenen Auswirkungen auf die Belange von Naturschutz und Landschaftsplanung zu erfassen, zu bewerten und die möglichen Minimierungen aufzuzeigen. Dabei wurden besonders die Auswirkungen in Wäldern betrachtet. Hier wurden die Möglichkeiten unterschiedlicher Bauweisen bzw. differenzierter Ausgestaltungen von Gehölzaufwuchs und -pflege in den Trassenkorridoren betrachtet. Ein weiterer Aspekt war die Betrachtung der Auswirkungen von Gehölzwurzeln auf die Kabel und die technischen und gestalterischen Möglichkeiten diese zu minimieren. Aufgrund der Neuartigkeit von Erdkabeln als Höchstspannungs-Übertragungstechnologie in Deutschland war keine abschließende Bewertung zu den Möglichkeiten und Grenzen von Erdkabeln in Wäldern möglich. Aus Naturschutzsicht werden zukünftig insbesondere bei der Verringerung der Zerschneidungswirkung von Erdkabeltrassen in Wäldern, durch die entsprechende Gestaltung mit Gehölzen und deren Pflege noch Potenziale zur Minimierung der Auswirkungen auf die Belange von Natur und Landschaft gesehen.

Wir hoffen mit den vorliegenden Berichten einen Beitrag zum naturverträglichen Netzausbau, insbesondere auch für die an den Genehmigungsverfahren beteiligten Fachbehörden und -planer zu leisten.

Prof. Dr. Beate Jessel

Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>12</b>
1.1	Ziele und Fragestellung.....	12
1.2	Vorgehensweise.....	14
<b>2</b>	<b>Höchstspannung-Erdkabelprojekte in Deutschland und Europa</b> .....	<b>16</b>
2.1	Rechtliche Voraussetzungen für eine Teil-Erdverkabelung.....	16
2.1.1	HDÜ-Verbindungen.....	16
2.1.2	HGÜ-Verbindungen.....	17
2.2	Technische Aspekte und Voraussetzungen für HöS-Erdverkabelung.....	19
2.2.1	HDÜ-Verbindungen.....	20
2.2.2	HGÜ-Verbindungen.....	24
2.2.3	Konverterstationen .....	28
2.3	Übersicht der Höchstspannungs-Erdkabelprojekte (HDÜ und HGÜ) .....	29
2.3.1	HDÜ-Erdkabelprojekte in Deutschland .....	30
2.3.2	Neue HDÜ-Vorhaben .....	34
2.3.3	HDÜ-Projekte im europäischen Ausland .....	35
2.3.4	Auswertung der HDÜ-Projekte .....	38
2.3.5	HGÜ-Projekte in Deutschland .....	41
<b>3</b>	<b>Auswirkungen von Höchstspannungs-Erdkabelverbindungen auf Natur und Landschaft</b> .....	<b>49</b>
3.1	Vorhabensspezifika, Vergleichbarkeit und Typisierung .....	49
3.1.1	Analogien zu anderen Leitungsbauvorhaben .....	49
3.1.2	Vorhabensmerkmale von HöS-Erdkabelvorhaben.....	50
3.2	Wirkfaktoren und Auswirkungen von HöS-Erdkabelanlagen.....	50
3.2.1	Baubedingte Effekte.....	52
3.2.2	Anlagebedingte Effekte .....	55
3.2.3	Betriebsbedingte Effekte .....	59
3.3	Ansatzpunkte zur Vermeidung und Minderung .....	62
3.3.1	Minderungsmöglichkeiten im Rahmen der technischen Planung und Ausführung.....	62
3.3.2	Minderungsmöglichkeiten durch grabenlose Bauweisen .....	64
3.3.3	Erfordernis einer Umweltbaubegleitung.....	69
<b>4</b>	<b>Möglichkeiten der Verwendung von Gehölzen auf einer Erdkabeltrasse</b> .....	<b>72</b>
4.1	Stand der Forschung von Gehölzwurzeln und den davon ausgehenden Auswirkungen auf unterirdische Versorgungsleitungen .....	72
4.1.1	Wurzelforschung .....	72
4.1.2	Unterirdische Infrastruktur .....	73
4.1.3	Deponietechnik .....	74
4.2	Eigenschaften von Wurzeln.....	75
4.2.1	Tiefe.....	76
4.2.2	Verankerung .....	76
4.3	Wurzelwachstum beeinflussende Faktoren .....	77
4.3.1	Genotypen .....	77

4.3.2	Einfluss klimatischer Bedingungen .....	78
4.3.3	Einflussfaktoren im Boden .....	78
4.4	Schadensformen .....	81
4.5	Schutzmaßnahmen .....	81
4.6	Artenauswahl für eine Gehölzbestockung .....	83
4.7	Bewertung des Schadensrisikos von Gehölzwurzeln für Erdkabel.....	84
<b>5</b>	<b>Hinweise und Empfehlungen für die Umsetzung einer naturverträglichen Trassengestaltung .....</b>	<b>86</b>
5.1	Voraussetzungen für ein naturverträgliches Trassenmanagement auf Erdkabeltrassen	86
5.2	Allgemeine Hinweise zur Festlegung von Entwicklungszielen .....	89
5.2.1	Anwendungsfälle .....	90
5.2.2	Geeignete Gehölzarten .....	90
5.2.3	Entwicklungsoptionen mit Gehölzen in der Praxis .....	91
5.2.4	Hinweise zu Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen .....	94
5.2.5	Zwischenfazit .....	96
5.3	Perspektiven für ein naturverträgliches Trassenmanagement .....	97
5.3.1	Erarbeitung einer „guten fachlichen Praxis“ der Trassenpflege .....	98
5.3.2	Naturverträgliches Trassenmanagement im Planungsverfahren verankern.....	98
5.3.3	Leitfaden zum naturverträglichen Trassenmanagement .....	98
<b>6</b>	<b>Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....</b>	<b>100</b>
6.1	Begleitung der Planung und Umsetzung von Erdkabelprojekten .....	100
6.2	Vertiefung des Wissens zu Umweltauswirkungen .....	100
6.2.1	Effekte der Bodenerwärmung auf die natürlichen Bodenfunktionen .....	100
6.2.2	Effekte der Bodenerwärmung auf das Bodenleben .....	101
6.2.3	Zerschneidungseffekte durch Schneisen.....	101
6.3	Fachkonvention über Standards und Maßstäbe der Bewertung .....	102
6.4	Erforschung der Schadensrisiken von Gehölzwurzeln für HöS-Erdkabel.....	102
6.5	Einstufung schützenswerter Waldtypen.....	104
6.6	Einbindung technischer Anlagen in die Landschaft durch Gestaltung.....	104
6.7	Fazit .....	105
<b>7</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>106</b>
7.1	Literatur.....	106
7.2	Internetquellen .....	118
7.3	Mündliche und nicht-öffentliche Mitteilungen .....	120
7.4	Rechtsquellen .....	124
7.5	Planungs- und Genehmigungsunterlagen .....	127
<b>8</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>129</b>
8.1	Steckbriefe ausgewählter Erdkabelprojekte in Deutschland und im europäischen Ausland .....	129
8.1.1	380-kV-HDÜ Projekte in Deutschland .....	129
8.1.2	380-kV-HDÜ Projekte im Ausland .....	139
8.1.3	HGÜ-Projekte in Deutschland .....	154

8.1.4	HGÜ-Offshore Anbindungen in Deutschland.....	161
8.2	Wissensstand zur Erwärmung und Austrocknung des Bodens im Bereich von Erdkabeltrassen .....	169
8.2.1	Feldversuche zu Wärmeeffekten von Erdkabeln .....	169
8.2.2	Monitoring unter Reallast am Standort Raesfeld .....	173
8.3	Erkenntnisse von Erdgas- und Fernwärmeleitungen und Übertragbarkeit .....	174
8.3.1	Erdgasleitungen (EGL).....	174
8.3.2	Fernwärmeleitungen .....	177
8.4	Wald-Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL und charakteristische Arten .....	180
8.5	Beispiele für bodenlebende stenotope Waldarten; hier: Waldkäfer.....	181
8.6	Maßnahmen zur Biotopentwicklung im Schutzstreifen.....	183
8.7	Risikoklassen gebietseigener Gehölze nach Wurzeltiefe.....	185
8.8	Übersicht der in Tunnelbauwerken realisierten 380-kV-Leitungen.....	188
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>189</b>
<b>10</b>	<b>Summary.....</b>	<b>196</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 2-1: HGÜ-Kabelgrabenprofile mit vier Systemen in unterschiedlicher Verlegeart	27
Abbildung 2-2: Offshore HGÜ-Anbindungen mit Trassenverlauf (TENNET 2012)	43
Abbildung 5-1: Zu beteiligende Akteure	89
Abbildung 5-2: Möglichkeiten der Umsetzung von Verbindungsriegeln (schematische Darstellung)	92
Abbildung 5-3: Möglichkeiten der Umsetzung von Gehölzvorsprüngen (schematische Darstellung)	93
Abbildung 5-4: Möglichkeiten der Umsetzung von Sichtschutzriegeln (schematische Darstellung)	93
Abbildung 5-5: Möglichkeiten der Umsetzung von gestuften Waldrändern (schematische Darstellung)	94

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: 380-kV-HDÜ-Erdkabelprojekte in Deutschland (bis Dezember 2015) .....	31
Tabelle 2-2: Übersicht Erdkabelabschnitte in den Planfeststellungsabschnitten der Trasse Dörpen-West-Niederrhein.....	33
Tabelle 2-3: Übersicht Erdkabelabschnitte in den Planfeststellungsabschnitten der Trasse Wahle-Mecklar .....	33
Tabelle 2-4: Nach Rechtsänderung (EÄG vom 04.12.2015) hinzugekommene HDÜ-Erdkabelabschnitte.....	34
Tabelle 2-5: HDÜ-Erdkabelprojekte (Bestand und Planung) in den Nachbarländern .....	35
Tabelle 2-6: Übersicht Verlegeform und Abstände ausgewählter 380 kV-HDÜ-Erdkabelprojekte (*geplant, **realisiert).....	38
Tabelle 2-7: Schutzstreifenbreite in ausgewählten HDÜ-Projekten (*geplant; **realisiert).....	39
Tabelle 2-8: HDÜ-Erdkabelabschnitte - Vorherrschende Landschaftstypen und Lage in den naturräumlichen Einheiten.....	40
Tabelle 2-9: Umfang erheblich beeinträchtigter Biotope in HDÜ-Erdkabelabschnitten.....	41
Tabelle 2-10: Übersicht der HGÜ-Offshore-Anbindungen in Deutschland .....	42
Tabelle 2-11: Kabelabstände und Schutzstreifenbreite bei HGÜ-Anbindungen .....	45
Tabelle 2-12: HGÜ-Interkonnektoren.....	45
Tabelle 2-13: HGÜ-Gleichstrompassagen in Deutschland (in Planung).....	46
Tabelle 3-1: Typisierung von HöS-EK-Vorhaben und Vorhabensmerkmale.....	50
Tabelle 3-2: Übersicht bau-, anlage- und betriebsbedingter Wirkfaktoren von HöS-Erdkabelvorhaben .....	51
Tabelle 4-1: Unterscheidung von Wurzeln nach ihrer Stärke .....	76
Tabelle 4-2: Übersicht Gehölzarten mit < 1 m Wurzeltiefe .....	84
Tabelle 5-1: Maßnahmen zur Ausweitung der Entwicklungsoptionen mit Gehölzen im Schutzstreifen .....	91
Tabelle 5-2: Entwicklungsoptionen auf Erdkabeltrassen in der Praxis .....	96
Tabelle 8-1: Temperaturveränderungen über 110-kV-Kabeln am Standort UW Osterath (Trüby et al. 29.05.2015) .....	172
Tabelle 8-2: Waldlebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL.....	180
Tabelle 8-3: Auswahl geschützter, gegenüber Zerschneidung empfindlicher, waldlebender Käferarten .....	181
Tabelle 8-4: Mögliche Maßnahmen der Biotopentwicklung im Schutzstreifen einer EK-Trasse (Zusammenstellung nach DVL 2014; ergänzt.....	183

Tabelle 8-5: Risikoklassen gebietseigener Gehölze .....	185
Tabelle 8-6: In Tunnelbauwerken realisierte 380-kV-Leitungen .....	188

## **Abkürzungsverzeichnis**

AU	Österreich
BBPIG	Bundesbedarfsplangesetz
BE	Belgien
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BFP	Bundesfachplanung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
CEF	Continuous Ecological Functionality (=dauerhafte Sicherung der ökologischen Funktion)
CH	Schweiz
DE	Deutschland
DK	Dänemark
EÄG	Energieleitungsplanungsänderungsgesetz
EGL	Erdgasleitung
EK	Erdkabel
EnLAG	Energieleitungsausbaugesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ES	Spanien
FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
FL	Freileitung
FR	Frankreich
FWL	Fernwärmeleitung
GW	Gigawatt
HDD	Horizontal Directional Drilling (oberflächennahe Horizontalbohrtechnik)
HDÜ	Höchstspannungs-Drehstrom-Übertragung
HGÜ	Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung
HöS	Höchstspannung
KÜA	Kabelübergangsanlage (syn. Kabelübergangsstation)
KÜS	Kabelübergangsstation
MI	Masse-imprägniert

MR	Metallischer Rückleiter (Metallic Return)
NL	Niederlande
NO	Norwegen
ÖTM	Ökologisches Trassenmanagement
PAG	Projektbegleitende Arbeitsgruppe
PFB	Planfeststellungsbeschluss
PFV	Planfeststellungsverfahren
k. A.	keine Angabe
ROV	Raumordnungsverfahren
UBB	Umweltbaubegleitung
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UK	Großbritannien
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UW	Umspannwerk
vsl.	voraussichtlich
vglw.	Vergleichsweise
VPE	Vernetztes Polyethylen

# 1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende werden in Deutschland derzeit umfangreiche Erneuerungen und Erweiterungen des Höchstspannungs-(HöS)-Stromübertragungsnetzes geplant und umgesetzt. Dabei kann und soll nach geltender Rechtslage auch die Erdkabeltechnologie eingesetzt werden. Es ist Aufgabe von Naturschutzbehörden, solche Erdkabel-Vorhaben im Rahmen des Genehmigungsverfahrens aus naturschutzfachlicher Sicht zu bewerten. Aktuell sind zwar die Wirkfaktoren von Erdkabeln und ihre potentiellen Auswirkungen auf den Naturhaushalt auf der theoretischen Ebene in mehreren Studien synoptisch erfasst und dargelegt, es fehlt aber an konkretem Wirkungswissen, z.B. über die Effekte auf den Boden, sowie an aggregiertem Wissen über die dauerhaften anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen einer Erdkabeltrasse. Über bereits realisierte Erdkabelprojekte im In- und Ausland liegen bisher keine systematischen Auswertungen vor. Die sich in der Planungs- und Genehmigungspraxis abzeichnenden Konventionen, wie die Auswirkungen von Höchstspannungserdkabeln im Hinblick auf die Beeinträchtigungsintensität zu bewerten sind, folgen daher vorwiegend theoretischen Erkenntnissen. Das vorliegende Projekt trägt dazu bei, das theoretische Wissen durch Auswertung konkreter Projekte und Ergebnissen der Feldforschung zu untersetzen.

Neben den Auswirkungen von Höchstspannungserdkabeln fehlt es darüber hinaus an Kenntnissen, inwiefern Erdkabeltrassen nach der Fertigstellung im Sinne des Naturschutzes gestaltet werden können. Dies ist wesentlich um einschätzen zu können, ob durch die Bauausführung, die Trassengestaltung und ein evtl. ökologisches Trassenmanagement (ÖTM) Auswirkungen auf Natur und Landschaft gemindert oder Eingriffe kompensiert werden können.

Ein Schwerpunkt des Projekts liegt bei der Untersuchung der Auswirkungen von Höchstspannungserdkabeln und den sich ergebenden Schneisen im Wald. Für ein ökologisches Trassenmanagement steht daher die Frage im Fokus, ob grundsätzlich die (Wieder-)Herstellung ökologisch wertvoller, gehölzgeprägter Biotope auf Erdkabeltrassen zumindest abschnittsweise möglich ist.

## 1.1 Ziele und Fragestellung

Ziel des Projektes ist es, die Wissensbasis für eine naturverträgliche Planung und Gestaltung von Höchstspannungs-Erdkabeltrassen<sup>1</sup> zu erweitern. So kann zum einen eine fundiertere Bewertung der Erdkabel-Technologie aus naturschutzfachlicher Sicht erfolgen. Zum anderen können gemeinsam mit den Übertragungsnetzbetreibern und weiteren Akteuren positive Ansätze für eine naturverträgliche Gestaltung ausgearbeitet und weiterentwickelt werden.

Es wurden folgende Kernfragen bearbeitet:

---

<sup>1</sup> Die naturverträgliche Gestaltung umfasst sowohl die schonende bauliche Realisierung des Projektes als auch die nach Abschluss der Baumaßnahme mögliche Biotopentwicklung auf der Trasse bzw. im Bereich des Schutzstreifens.

**Welche HöS-Erdkabel-Projekte wurden und werden aktuell im In- und Ausland realisiert oder geplant und können als Referenz für die in Deutschland anstehenden HöS-Erdkabelanlagen herangezogen werden?**

Hierfür wurden HöS-Erdkabelprojekte durch Internetrecherche und Befragung von Übertragungsnetzbetreibern ermittelt und hinsichtlich der Übertragbarkeit geprüft. In Projektsteckbriefen wurden Projektdaten und -dimensionen, technische Auslegung und Bauweisen sowie Ansprechpartner und Projektunterlagen erfasst. Damit sind die Voraussetzungen für einen zukünftigen nationalen und internationalen Wissensaustausch gegeben. In Kenntnis des Spektrums verschiedener Ausführungsmöglichkeiten können Handlungsspielräume für eine naturverträgliche Projektplanung in Deutschland besser eingeschätzt werden.

**Welche Wirkfaktoren und Auswirkungen von HöS-Erdkabelprojekten sind potenziell planungs- und genehmigungsrelevant und welche Rolle spielen dabei insbesondere die betriebsbedingten Wärmeemissionen?**

Zunächst wurden die aktuelle und zukünftig geplante technische Auslegung und Bauausführung von HöS-Erdkabeltrassen (HDÜ- und HGÜ-Erdkabel) analysiert, da diese für die Wirkungsbeurteilung essentiell sind. Die relevanten Wirkfaktoren und potenzielle Auswirkungen wurden auf Basis der Fachliteratur, durch die Auswertung von Planungs- und Genehmigungsunterlagen sowie von Bauberichten zusammengestellt. Einen Schwerpunkt bildeten betriebsbedingte Wärmeemissionen, da deren Auswirkungen auf den Boden (Erwärmung), den Wasserhaushalt (Austrocknung) sowie auf das Bodenleben noch wenig erforscht sind. Zu klären war, welche Relevanz (Erheblichkeit) diese Effekte für die Planungs- und Genehmigungspraxis haben.

**Welche Möglichkeiten einer naturverträglichen Trassengestaltung bestehen auf Erdkabeltrassen und welche Entwicklungsziele für die Trassengestaltung lassen sich insbesondere für Erdkabeltrassen im Wald ableiten? Wann ist eine Gestaltung mit Gehölzen aus Naturschutzsicht vorzugswürdig?**

Ziel war es zunächst herauszuarbeiten, in welchen Anwendungsfällen es zu Waldquerungen mit Erdkabeltrassen kommen kann und welche Entwicklungsoptionen sich im Schutzstreifen anbieten und aus naturschutzfachlicher Sicht anzustreben sind. Parallel wurde zusammengetragen, unter welchen Voraussetzungen (Flächenverfügbarkeit; Freiwilligkeit/Verpflichtung) eine über die Rekultivierung und Wiederaufnahme der Nutzung hinausgehende Möglichkeit der Trassengestaltung besteht. Ein Schwerpunkt lag auf der Untersuchung zu den Möglichkeiten einer naturverträglichen Trassengestaltung mit Gehölzen. Es wurden verschiedene Optionen für eine naturverträgliche Trassengestaltung mit Gehölzen unter Wahrung der Sicherheitsanforderungen im Schutzstreifen entwickelt. In die Erarbeitung wurden auch Erfahrungen und Bedingungen aus dem Erdgasleitungsbau und der Verlegung unterirdischer Infrastrukturleitungen im innerstädtischen Bereich mit einbezogen.

**Welches Wurzelverhalten weisen Gehölze auf und welches Schadensrisiko geht von den Wurzeln für Erdkabel aus? Inwieweit kann das potenzielle Schadensrisiko differenziert werden, so dass eine Gehölzbestockung im Schutzstreifen in Betracht kommt?**

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurden zunächst die aus Netzbetreibersicht bestehenden Schadensrisiken durch Wurzeln für Höchstspannungserdkabel und Gründe für die Freihaltung des Schutzstreifens von Gehölzen abgefragt. Anschließend wurde der Wissensstand über Wurzelverhalten und Wurzeltiefen verschiedener heimischer Baum- und Straucharten zusammengeführt. Hieraus abgeleitet wird gezeigt, welche Gehölze aufgrund ihres verminderten Schadensrisikos potenziell für die Trassengestaltung mit Gehölzen geeignet wären.

Die Ergebnisse aus den Forschungsfragen münden in praktische Empfehlungen für eine naturverträgliche Trassengestaltung. Hierbei wird dargestellt, welche Art der Trassengestaltung in der Praxis unter welchen Voraussetzungen machbar ist. Es wird des Weiteren aufgezeigt, welche generellen Aspekte bei der Aufstellung von Entwicklungszielen und der Festlegung von Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen zu beachten sind. Nicht zuletzt werden Hinweise gegeben, was für eine vermehrte Umsetzung eines ökologischen Trassenmanagements getan werden könnte.

Offen gebliebene Forschungsfragen zu den bearbeiteten Themen werden am Schluss des Berichtes zusammenfassend dargestellt.

## **1.2 Vorgehensweise**

Als empirische Basis für die Ermittlung des Standes von Wissenschaft und Praxis der HöS-Erdverkabelung haben die Forschungsnehmer die einschlägige aktuelle Fachliteratur sowie Planungs- und Genehmigungsunterlagen von den in Deutschland und ausgewählten Nachbarländern (NL, DK, BE, GB, CH) realisierten bzw. aktuell geplanten HöS-Projekten ausgewertet (vgl. Kapitel 8). Die projektbezogenen Unterlagen wurden im Hinblick auf

- technische Anforderungen und Ausführung des Vorhabens
- Wirkfaktoren und Auswirkungen sowie deren Erheblichkeit
- Trassengestaltung

ausgewertet. Die Auswertung wurde durch Interviews und telefonische bzw. Email-Auskünfte ergänzt. Dazu kamen Erkenntnisse von aktuellen Fachtagungen und Informationsveranstaltungen (z. B. der Bundesnetzagentur).

Drei HDÜ-Erdkabel-Projekte wurden vor Ort besichtigt (Fallstudien):

- Raesfeld in Deutschland (3,4 km langes Erdkabel, 380 kV)
- Randstad-Zuidring in den Niederlanden (10 km langes Erdkabel, 380 kV)
- Vejle Ådal in Dänemark (6,9 km langes Erdkabel, 400 kV)

Hierdurch sind eine breite Wissensbasis und ein Netzwerk an Ansprechpartnern entstanden.

Die Zwischenergebnisse des Projektes wurden in zwei Sitzungen der Projektarbeitsgruppe (PAG) vorgestellt und diskutiert (29.05.2015 und 16.11.2015). Schwerpunktsetzungen bei den Fragestellungen wurden angepasst. Die Sitzungen der Projektarbeitsgruppe wurden

durch Fachvorträge und Diskussionsbeiträge eingeladener Experten zu speziellen Themen ergänzt:

- Bewertung bau- und betriebsbedingter Auswirkungen von 380kV Erdkabeln auf den Boden, Dr. Norbert Feldwisch, Ingenieurbüro Feldwisch
- Ökologische Folgen der Bodenerwärmung – Forschungsstand und offene Fragen, Dr. Peter Trüby, Universität Freiburg, Professur für Bodenökologie
- Technische Aspekte des Horizontal Directional Drilling (HDD) Verfahrens, Philipp Dick, MOLL-prd GmbH & Co. KG

Zur Abstimmung der Projektergebnisse wurde gegen Ende des Projektes ein Papier mit den wesentlichen Arbeitsinhalten verfasst, wobei der Schwerpunkt auf den Optionen der Trassengestaltung lag. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der PAG und der Auftraggeber wurden gebeten, das Papier zu kommentieren. Durch die Anmerkungen und Kommentare konnten die vorliegenden Projektergebnisse noch einmal für den Endbericht präzisiert werden.

## **2 Höchstspannung-Erdkabelprojekte in Deutschland und Europa**

Die HöS-Erdverkabelung unterliegt in Deutschland bestimmten rechtlichen Voraussetzungen. Im Anschluss daran werden die technischen Aspekte, die bei der HöS-Erdverkabelung zu beachten sind, getrennt nach HDÜ und HGÜ, in Kurzform wiedergegeben. Eine Zusammenstellung der bisher geplanten und realisierten HöS-Erdkabelprojekte in Deutschland, ergänzt durch Beispiele aus dem benachbarten europäischen Ausland (HDÜ: A, BE, CH, DK, I, NL UK) rundet den Überblick über rechtliche und technische Anforderungen und deren Umsetzung in der Praxis ab.

### **2.1 Rechtliche Voraussetzungen für eine Teil-Erdverkabelung**

#### **2.1.1 HDÜ-Verbindungen**

Im HDÜ-Netz sind Freileitungen bisher der Regelfall. Eine (abschnittsweise) Erdverkabelung ist im Zuge gesetzlich festgelegter Pilotvorhaben für HDÜ-Erdkabel möglich. Die Pilotvorhaben sind sowohl im Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) als auch im Bundesbedarfsplangesetz Übertragungsnetz (BBPIG) benannt. Ferner sind im EnLAG (neue Fassung, n. F.) die rechtlichen Voraussetzungen für eine HDÜ-Erdverkabelung verankert.

#### **Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG)**

§ 2 Abs. 1 EnLAG (n. F.) beinhaltet mit Nr. 5 und 6 gegenüber der früheren Fassung zwei weitere Vorhaben, insgesamt also nun folgende Vorhaben:

1. Abschnitt Ganderkesee – St. Hülfe der Leitung Ganderkesee – Wehrendorf,
2. Leitung Diele – Niederrhein,
3. Leitung Wahle – Mecklar,
4. Abschnitt Altenfeld – Redwitz der Leitung Lauchstädt – Redwitz,
5. Rheinquerung im Abschnitt Wesel – Uffort der Leitung Niederrhein – Uffort – Osterath,
6. Leitung Wehrendorf – Gütersloh.

Die Voraussetzungen, unter denen eine Erdverkabelung in Betracht kommt, wurden durch die Novellierung erweitert. Zusätzlich zu den Abstandskriterien (Unterschreitung der Mindestabstände zu Wohnsiedlungen und Wohnhäusern) ist unter der Voraussetzung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Teilverkabelung eine Erdverkabelung nunmehr nach den in § 2 Abs. 2 EnLAG gefassten Voraussetzungen auch möglich, wenn

- eine Freileitung gegen die Verbote des § 44 Abs. 1 BNatSchG verstieße und mit dem Einsatz von Erdkabeln eine zumutbare Alternative im Sinne des § 45 Abs. 7 Satz 2 BNatSchG gegeben ist,
- eine Freileitung nach § 34 Abs. 2 BNatSchG unzulässig wäre und mit dem Einsatz von Erdkabeln eine zumutbare Alternative [...] gegeben ist oder

- die Leitung eine Bundeswasserstraße [...] queren soll, deren zu querende Breite mindestens 300 m beträgt.

Der Einsatz von Erdkabeln soll auch dann zulässig sein, wenn die Voraussetzungen nicht auf der gesamten Länge des technisch und wirtschaftlich effizienten Teilabschnitts vorliegen (ebda.). Diese neue Regelung ist Voraussetzung dafür, dass grundsätzlich auch längere Erprobungsstrecken möglich sind.

Eine Sonderregelung wurde für die Verbindung Wahle – Mecklar geschaffen: Hier soll ein 10 bis 20 km langer Teilabschnitt des Abschnitts Wahle – Lamspringe auf Antrag des Vorhabenträgers als Erdkabel errichtet werden. Der Einsatz eines Erdkabels soll auch dann zulässig sein, wenn die Voraussetzungen hierfür nicht vorliegen (§ 2 Abs. 2 EnLAG n. F.).

### **Bundesbedarfsplangesetz Übertragungsnetz (BBPIG)**

In das BBPIG (n. F.) wurden weitere neue HDÜ-Verbindungen<sup>2</sup> aufgenommen, deren Bedarf sich aus dem Netzentwicklungsplan 2024 ergibt. Zudem haben fünf der im BBPIG verankerten Verbindungen den Status „HDÜ-Pilotvorhaben“ (Kennzeichnung „F“) erhalten:

- 380-kV-Leitung Conneforde – Cloppenburg Ost – Merzen ((BBPIG Nr. 6)<sup>3</sup>
- 380-kV-Leitung Stade – Sottrum – Wechold – Landesbergen (BBPIG Nr. 7)
- 380-kV-Leitung Wilhelmshaven – Conneforde (BBPIG Nr. 31)
- 380-kV-Leitung Emden Ost – Conneforde (BBPIG Nr. 34)
- 380-kV-Kreis Segeberg – Lübeck – Siems – Göhl (BBPIG Nr. 42)

Insgesamt können also – unter den in § 2 Abs. 2 EnLAG genannten Voraussetzungen – HDÜ- Erdkabelabschnitte im Verlauf von elf HDÜ-Verbindungen realisiert werden.

#### **2.1.2 HGÜ-Verbindungen**

Die Regelungen zur Erdverkabelung von HGÜ-Leitungen wurden mit dem EÄG ebenfalls novelliert. Die Änderungen setzten den im Juni 2015 anlässlich eines Regierungsgipfels beschlossenen „Verkabelungsvorrang“ für HDÜ-Passagen um. Nach § 3 Abs. 1 BBPIG n. F. gilt der Erdkabelvorrang für folgende Projekte (Kennzeichnung „E“):

- Emden/Ost – Osterath (Nr. 1),
- „Suedlink“ mit den Teilstrecken Brunsbüttel – Großgartach (Nr. 3) und Wilster – Grafenrheinfeld (Nr. 4),
- Gleichstrompassage „Südost“ Wolmirstedt – Isar (Nr. 5),
- Oberzier – Lixhe (Nr. 30).

<sup>2</sup> Insgesamt wurden 22 neue Vorhaben aufgenommen und ggü. dem geltenden BBPIG vier Vorhaben gestrichen.

<sup>3</sup> Die Vorhaben 6, 7 und 42 wurden auf Vorschlag des Bundesrates in den Katalog der Pilotvorhaben für eine Erdverkabelung aufgenommen (vgl. BR-Drs. 129/15).

Das Projekt „Ultranet“ wird von den neuen Regelungen nicht berührt.

Eine Freileitung ist alternativ unter bestimmten Voraussetzungen möglich, nämlich:

- wenn Erdkabel gegen bestimmte arten- oder gebietsschutzrechtliche Aspekte (§ 44 BNatSchG; § 34 Abs. 2) verstoßen (§ 3 Abs. 2 Nr. 1 und 2 BBPIG n. F.)
- wenn eine Trassenbündelung mit bestehenden Freileitungen ohne zusätzliche erhebliche Umweltauswirkungen möglich ist (§ 3 Abs. 2 Nr. 3 BBPIG n. F.)
- wenn von der Trasse berührte Gebietskörperschaften die Prüfung des Einsatzes einer Freileitung beantragen (§ 3 Abs. 3).

Bei den Erdkabel-Vorrangstrecken ist eine Abweichung vom Erdkabelvorrang unter den oben genannten Voraussetzungen nicht zulässig, wenn die Trasse weniger als 400 m entfernt von Wohngebäuden im Innenbereich oder weniger als 200 m entfernt von Wohngebäuden im Außenbereich liegt (§ 3 Abs. 4 BBPIG n. F.).

Der Umgang mit den in § 3 Abs. 2 BBPIG n. F. genannten Ausnahmen stellt die Bundesfachplanung vor neue Herausforderungen. So stellt sich die Frage, in welchem Fall ein Erdkabel aus arten- und gebietsschutzrechtlichen Gründen nicht realisierbar wäre und wie dies auf Ebene der BFP rechtssicher festgestellt werden kann, so dass die Realisierung einer Freileitung nicht anfechtbar ist. Dies scheint eher unwahrscheinlich. Zum Zweiten stellt sich die Frage, ob es tatsächlich Fälle gibt, in denen eine Trassenbündelung mit bestehenden Freileitungen ohne zusätzliche erhebliche Umweltauswirkungen möglich ist und daher vom Erdkabelvorrang abgewichen werden kann. Außerdem wäre zu prüfen, ob nicht auch eine Bündelung des Erdkabels mit dem Trassenverlauf der Freileitung möglich und in Sinne von § 3 Abs. 2 BBPIG mit abgedeckt ist.

In welchem Umfang berührte Gebietskörperschaften die Prüfung des Einsatzes einer Freileitung beantragen werden, ist schwer vorhersehbar. Zudem bedarf es der Klärung, auf welcher Ebene bzw. aufgrund welcher Untersuchungen entschieden wird, ob diese realisiert wird.

Derzeit lässt sich also noch nicht abschätzen, in welchem Umfang und unter welchen örtlichen Bedingungen es zum Abweichen vom Erdkabelvorrang kommt und ob naturschutzrechtlich sensible Bereiche hiervon betroffen sein werden.

Insgesamt werden die Anteile der Erdverkabelung am Übertragungsnetz zunehmen. Aus dem vermehrten Einsatz der Erdkabeltechnologie leitet sich die Notwendigkeit ab, Konzepte für eine naturverträgliche Trassenplanung, -gestaltung und -pflege von Erdkabeltrassen zu entwickeln.

## 2.2 Technische Aspekte und Voraussetzungen für HöS-Erdverkabelung

Das folgende Kapitel befasst sich mit der technischen Ausführung von HDÜ- und HGÜ-Erdverkabelungen (Dimensionierung, Funktionsweise, bautechnische Ausführung)<sup>4</sup>, soweit diese für die Erfassung und Bewertung der vom Vorhabentyp ausgehenden Wirkfaktoren von Bedeutung sind. Die Entwicklung der Übertragungstechnologien verläuft dynamisch. Das bedeutet, dass sich die Einschätzung der technischen Möglichkeiten und Machbarkeiten verändert. Die Ausführungen liefern daher eine Momentaufnahme gegenwärtiger Entwicklungen und Einschätzungen. Die Darstellung dient dazu, Vor- und Nachteile aus Sicht der ÜNB und damit auch bestehende Verhandlungsspielräume deutlich zu machen.

Die Vorhabensdimensionen hängen im Wesentlichen von der für die Übertragungsleistung benötigten Art und Anzahl der Kabel, den Verlegeform, der Betriebsführung<sup>5</sup> und der Umsetzung sicherheitstechnischer Standards (u. a. Mindestabstände) ab. Die Netzbetreiber haben dabei jeweils eigene, unternehmensspezifische Konzepte (Betriebs-, Redundanz- und Reparaturkonzepte) verfolgt. Daher kann die technische und bauliche Ausführung einer Trasse von Fall zu Fall variieren. Nicht zuletzt nehmen auch die örtlichen Standortgegebenheiten (Baugrund, Grundwasser, Bodenstruktur, Bodenwasserhaushalt) Einfluss auf die konkrete Auslegung der Erdkabelanlage vor Ort. Jedes Projekt ist das Ergebnis einer individuellen technischen Planung unter den jeweiligen Anforderungen des Einzelfalls. Aus diesen Prämissen ergeben sich in jedem Projekt unterschiedliche Lösungen. Als Voraussetzung für die Wirkungsabschätzung im Rahmen der BFP müssen im Rahmen der technischen Vorhabensbeschreibung mindestens die Übertragungstechnologie (HGÜ/HDÜ), Art (VPE oder MI) und Anzahl der Kabel und die Verlegeform /Anzahl der Gräben benannt sein. Daraus lassen sich anlagebezogene Wirkfaktoren ableiten. Für die Bewertung der Konflikte durch bauliche Maßnahmen bedarf es einer weiteren Differenzierung der Bauweise (offene oder geschlossene Bauweise) und – im Hinblick auf die Gewährleistung der Zugänglichkeit<sup>6</sup> - einer Erläuterung der Sicherheits-, Wartungs- und Reparaturkonzepte.

Die Anforderungen zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von Energieanlagen stellen nach § 49 Abs. 1 S. 2 EnWG auf die „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ ab. Nach dem BVerwG-Urteil 7 A 4.12 vom 18.07.2013 handelt es sich hierbei um solche technischen Regeln, die von den herrschenden Fachkreisen als richtig anerkannt sind und praktiziert werden; darüber hinaus müssen sie – anders als zum Stand der Technik zählende Verfahren – in der Praxis erprobt sein (vgl. JARASS 2012, § 3 Rn. 95). Betriebsweisen, die schon in ein technisches Regelwerk aufgenommen wurden, deren praktische Erprobung aber noch aussteht, zählen deshalb nicht zu den anerkannten Regeln der Technik.

---

<sup>4</sup> Für grundlegende Informationen zum Einsatz der HöS-Erdkabeltechnik wird auf die einschlägigen Studien (u. a. Brakelmann 2004; Oswald 2005 EFZN/Hofmann 2012) sowie auf die Fachliteratur (u. a. Jarass u. Obermair 2012) verwiesen.

<sup>5</sup> Eingrabenbauweise oder mehrere Gräben; äquidistante oder gebündelte Verlegung der Kabel, Verwendung von Bettungsmaterial, Einbau/Bettung der Muffen, Bemessung des Schutzstreifens; vgl. EFZN/Hofmann 2012 sowie Projektbeispiele)

<sup>6</sup> Freihaltung der Trasse und ggf. Anlage von befestigten Zuwegungen sowie Unterhaltungswegen.

Bei Anlagen oder Betriebsweisen, die bisher nicht in ein Regelwerk aufgenommen sind, stehen die Anerkennung innerhalb entsprechender Fachkreise sowie die Erprobung noch aus. Der Prozess der Anerkennung und ggf. Normung dauert i. d. R. mehrere Jahre, ebenso die anschließende Erprobungsphase. Nach RETHMEIER (01.12.2015) lassen sich Normungs- und Anerkennungsprozesse nur bedingt beschleunigen. Vorteilhaft wirkt es sich aus, wenn ein größeres wirtschaftliches Interesse an der Markteinführung besteht.

## **2.2.1 HDÜ-Verbindungen**

### **Anwendungsbereiche HDÜ**

Nahezu das gesamte europäische kontinentale 380-kV-Verbundnetz mit einer Gesamt-Trassenlänge von etwa 110.000 km ist als Drehstrom-Freileitungsnetz errichtet. Erdkabel wurden in Deutschland und Europa auf der Höchstspannungsebene bisher nur selten eingesetzt. Der Anteil der Kabel an der gesamten Stromkreislänge beträgt bisher weniger als 0,3 %. Anwendungsbereiche sind Kraftwerksanschlüsse oder Höchstspannungsverbindungen in großen Versorgungszentren (Städten). Hier erfolgte die Verlegung meistens in Tunnelbauwerken. Diese Abschnitte sind vergleichsweise kurz (zwischen 3 und 7,5 km). Grundsätzlich sind die Erfahrungen mit dem Einsatz von HDÜ-Erdkabelabschnitten im vermaschten Drehstromnetz begrenzt, weshalb diese Vorhaben Pilotstatus haben.

Der Einsatz von Erdkabeln ist mit vergleichsweise hohen Kosten verbunden. Diese werden u. a. dadurch verursacht, dass im Vergleich zur Freileitung eine höhere Anzahl an Kabelsystemen verlegt werden muss, um dieselbe Übertragungsleistung zu erreichen. Zudem tritt im Erdkabel ein hoher kapazitiver Ladestrom<sup>7</sup> auf, der die Wirkleistungsübertragung pro Kabel begrenzt. Bei längeren Übertragungstrecken sind daher Kompensationseinrichtungen für das Kabel erforderlich, um die Wirkleistung zu erhalten. Da Wirkleistungsverluste und der Aufwand für Kompensationseinrichtungen mit zunehmender Kabellänge steigen, nimmt die Wirtschaftlichkeit des Erdkabeleinsatzes im gleichen Maße ab. Die technisch und wirtschaftlich sinnvolle Länge von Drehstromkabeln ist also von vornherein begrenzt; umstritten ist, ab welcher Länge diese Grenze erreicht ist. EFZN/HOFMANN (2012) haben aufgezeigt, dass dies von verschiedenen Faktoren abhängig ist und nur einzelfallabhängig beurteilt werden kann.

### **Betriebsmittel**

Für 380 kV-Übertragungsleitungen kommen in erster Linie VPE-Kabel in Frage. Auf Ölkabel, wie sie z. B. in Großbritannien verwendet wurden, wird der Vollständigkeit halber eingegangen, obwohl diese in Deutschland nicht als Option betrachtet werden. Gasisolierte Leiter (GIL) sind keine „Kabeltechnologie“ und ihre Anwendung ist gegenwärtig noch sehr beschränkt. Sie sind eine zukünftig mögliche Übertragungsoption und werden deshalb ebenfalls angesprochen.

---

<sup>7</sup> Grundstrom, der unabhängig vom Fließstrom (= Wirkstrom) vorhanden ist und die Übertragungskapazität mindert.

VPE-Kabel (engl.: XLPE-Kabel)<sup>8</sup> sind eine neuere Entwicklung der Kabeltechnologie. Der leitende Kupferkern ist mit einer Schicht aus vernetztem Polyethylen ummantelt. Die VPE-Ummantelung stellt eine hoch-leistungsfähige Isolierung dar, die das Auftreten von Fehlerströmen wirkungsvoll verhindert. Die Maximaltemperatur des Kupferleiters (Grenztemperatur) beträgt 90 °C. Die Kunststoffummantelung ist bis ca. 120 °C temperaturbeständig.<sup>9</sup> Insofern weisen VPE-Kabel eine vergleichsweise hohe Belastbarkeit auf. Als Landkabel können VPE-Kabel für eine Betriebsspannung von bis zu ±500 kV, als Seekabel nach neueren technischen Entwicklungen bis zu 320 kV (ABB 2013, online) eingesetzt werden. In Deutschland, Dänemark und in den Niederlanden wurden und werden in den HDÜ-Erdkabelprojekten ausschließlich VPE-Kabel vorgesehen. Sie entsprechen in diesem Anwendungsbereich den allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Ölkabel werden seit den 1950er Jahren in der elektrischen Energietechnik für Betriebsspannungen von 100 kV bis 500 kV eingesetzt. Die Isolation von Ölkabeln ist ähnlich wie bei Massekabel aus ölgetränkten Papierschichten aufgebaut, das Papier wird aber nur mit dünnflüssigem Mineralöl imprägniert und im Betrieb wird durch eine externe Öldruckregelanlage laufend Öl in die Kabelisolierung gepresst. Die Öldrucksteuerung, die auch der Kühlung dient, ist aufwändig. Die Übertragungsleistung von Ölkabeln ist durch die starke Wärmeentwicklung begrenzt. Im Betrieb bestehen Risiken durch Leckagen, infolge derer Öl in das Erdreich und Grundwasser gelangen kann. Bauliche Vorkehrungen zur Vermeidung dieser Risiken sind ebenfalls aufwendig. In Großbritannien sind Ölkabel heute noch im Einsatz. Im Zuge von Erneuerungen werden sie seit den 1990er Jahren sukzessive gegen VPE-Kabel ausgetauscht. In Deutschland ist ihr Einsatz nicht vorgesehen.

Gasisolierte Leiter (GIL) besitzen einen stromführenden Innenleiter aus Aluminium, der von einem gasgefüllten Rohr umgeben ist. Als Isoliergas wird SF<sub>6</sub> verwendet. GIL weisen zahlreiche Vorteile wie z. B. eine geringe Trassenbreite, ein geringes magnetisches Feld, Wartungsfreiheit, geringe Erwärmung der Leitungen und daher geringe Verluste auf. Aufgrund der Gasisolierung zeigen GIL ein der Freileitung sehr ähnliches, günstiges Betriebsverhalten. Die Zuverlässigkeit von GIL ist in mehr als 35 Jahren Betriebserfahrung erprobt (Siemens online, 16.10.2015). Die Herstellung ist jedoch sehr kostenaufwändig.<sup>10</sup> Die Technik war bisher nicht kommerziell verfügbar (JARASS U. OBERMAIR 2012, 121). In der Praxis gibt es nur wenige realisierte Projekte.<sup>11</sup> In Deutschland wurde 1975 eine Leitung von knapp 3,3 km Länge im Kavernenkraftwerk Wehr im Schwarzwald installiert. Seit 2010 ist eine 0,9 km lange GIL-Trasse (5,7 km Gesamtrohrlänge) am Flughafen Frankfurt (Kelsterbach) in Betrieb. Aktuell läuft ein Forschungsvorhaben zur Entwicklung gasisolierter Übertragungsleitungen

---

<sup>8</sup> VPE = vernetztes Polyethylen; im Englischen als XLPE abgekürzt.

<sup>9</sup> Um Missverständnisse zu vermeiden: Derartig hohe Temperaturen treten an der Oberfläche des Kabelmantels jedoch nicht auf; diese liegen maximal bei 70 bis 75° C; vgl. Terra Planta (2014, 4),

<sup>10</sup> Zur GIL-Technik und ihren Einsatzmöglichkeiten vgl. auch Dena (2012, 169 ff.). Die Kosten für GIL liegen nach ersten Kostenschätzungen mehr als doppelt so hoch wie die Kosten der HGÜ-Technik (Jarass u. Obermair 2012, 121).

<sup>11</sup> Laut dena (2010, 229) wurden GIL bisher über relativ kurze Strecken verlegt. Insgesamt sind bisher nur ca. 200 bis 300 km GIL-Strecke weltweit realisiert. GIL-Projekte siehe unter Siemens online (16.10.2015).

für Gleichstrom („DC CTL“)<sup>12</sup>. Diese soll bis zu 5 GW Leistung je System übertragen können. Aktuell ist die Anwendung von GIL für Übertragungsaufgaben im Übertragungsnetz u. a. aufgrund der hohen Kosten nicht beabsichtigt.

### **Verlegung und Betrieb**

Für einen 380-kV-HDÜ-Erdkabelabschnitt mit vier Systemen kommen verschiedene Verlegevarianten in Betracht. Die Abmessungen der Kabelanlage sind abhängig von der Anzahl der Gräben, den Kabelsystemabständen und den Leitemittenabständen.

TenneT und Amprion planen, im HDÜ-Netz je zwei Systeme in getrennten Kabelgräben zu verlegen (2 x 2 Systeme zu je drei Kabeln). Die Abstände werden jeweils einzelfallbezogen ermittelt und festgelegt. Beim Erdkabelabschnitt bei Raesfeld (3,6 GW) beträgt der Abstand der Kabelgräben z. B. 9,6 m, der Achsabstand der Kabel 0,6 m. Ob die Kabel alle in einen Graben oder in mehrere Gräben verlegt werden, hängt davon ab, welches Wartungs- bzw. Fehlerfallkonzept der ÜNB verfolgt. Vorteil der Zweigrabenbauweise ist der getrennt mögliche Zugang im Fehlerfall (Fehlerfallbeseitigung), während das noch funktionierende System weiterbetrieben werden kann. Nachteil ist der erhöhte Flächenbedarf und die komplexere Baulogistik.

### **Kabelbettung**

Während des Betriebs erwärmt sich das Drehstromkabel (proportional zur Auslastung). Dadurch kann es dazu kommen, dass sich die Kabel thermisch negativ beeinflussen und Überhitzungen auftreten, die die Betriebssicherheit beeinträchtigen würden. Gegenseitige thermische Beeinflussungen können bis zu einem gewissen Grad durch das Einziehen der Kabel in Rohre gemindert werden. In Böden, die eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen, kann dies aber u. U. nicht ausreichen. Hier müssen spezielle Bettungsmaterialien zur besseren Wärmeableitung eingebracht werden. Als Bettungsmaterialien kommt Sand, „Flüssigboden“<sup>13</sup> oder – in Sonderfällen – Magerbeton<sup>14</sup> in Frage. In Abschnitten mit hoch anstehendem Grundwasser ist die Verwendung von Bettungsmaterialien nicht zwingend erforderlich.

Flüssigboden wird unter Verwendung des anstehenden Bodens durch Beimischung von mehreren Zuschlagstoffen (u. a. Zement, Polymere) und Wasser hergestellt. Ziel ist es, ein Substrat mit geringem Porenvolumen und hohem Wasserhaltungsvermögen herzustellen. Dadurch behält Flüssigboden gute Wärmeleiteigenschaften auch bei höheren Temperaturen. Ein Vorteil von Flüssigboden ist, dass der Bodenaushub weitgehend wieder eingebaut wird

---

<sup>12</sup> Compact Transmission Line for Direct-Current High Voltage. Vgl. Siemens Pressemitteilung v. 09.04.2015; [http://www.pressrelations.de/new/standard/result\\_main.cfm?aktion=jour\\_pm&comefrom=scan&r=591398](http://www.pressrelations.de/new/standard/result_main.cfm?aktion=jour_pm&comefrom=scan&r=591398).

<sup>13</sup> Der Begriff „Flüssigboden“ wird hier stellvertretend für die Gesamtheit „zeitweise fließfähiger Verfüllstoffe“ (vgl. Streckenbach 11.02.2016, schriftl.) verwendet, ohne dabei ein spezielles Produkt zu meinen.

<sup>14</sup> Magerbeton wird z. B. bei Kraftwerkseinleitungen verwendet. Das Einbringen von Magerbeton ist u. U. nicht an allen Standorten im Außenbereich genehmigungsfähig. Der Einsatz auf der freien Strecke ist also nicht durchgehend bzw. uneingeschränkt möglich.

und Aushub-Überschüsse gemindert werden. Da die Herstellung von Flüssigboden vergleichsweise aufwändig ist, wird das Material nur dort eingesetzt, wo man mit dem anstehenden Boden oder einer Sandbettung keine ausreichende Wärmeableitung erreicht. In wie weit die Verwendung von Flüssigboden auch für HGÜ-Erdkabel erforderlich wird, ist nicht abschätzbar, zumal sich diese weniger stark erwärmen und geringere Anforderungen an die Wärmeableitung stellen als HDÜ-Erdkabel.

### **Kabelschutzrohre**

Ob Kabelschutzrohre verwendet werden, hängt von den Betriebs-, Redundanz- und Reparaturkonzepten des Netzbetreibers und den örtlichen Gegebenheiten ab.<sup>15</sup> Die Verwendung liegt im Ermessen des Betreibers. Aus dessen Sicht kann es vorteilhaft sein, dass der Kabelgraben bei Verwendung von Rohren schnell wieder verfüllt werden kann; lediglich die Muffengruben bleiben länger offen. Des Weiteren bieten Kabelschutzrohre die Möglichkeit, dass im Fehlerfall ein schadhafte Kabel ohne Aufgraben zwischen zwei Muffen als Ganzes ausgetauscht werden kann. Die Notwendigkeit, die Zugänglichkeit<sup>16</sup> zu gewährleisten, ließe sich im Fehlerfall auf die Muffenbauwerke konzentrieren.

Werden keine Schutzrohre verwendet, muss die Schadstelle im Trassenverlauf lokalisiert<sup>17</sup> und der Kabelgraben an der Schadstelle in einem Bereich von ca. 30 m geöffnet werden. daher müsste jede Stelle des Kabels für die Schadensbehebung zugänglich sein.

### **Muffenverbindungen und Cross Bonding**

Die Kabelenden werden mit Muffen miteinander verbunden. Die Muffenverbindungen können als feste Bauwerke errichtet oder ohne feste Bauwerke im Bettungsmaterial bzw. auf einer Bodenplatte<sup>18</sup> verlegt werden. Bei festen Muffenbauwerken sind ggf. Bauteile (z. B. Muffenschacht) oberirdisch sichtbar. Welche Bauweise für das Muffenbauwerk gewählt wird, ist von unternehmerischen (Kosten-) Erwägungen, der Fehlerfall-Risikoeinschätzung des Übertragungsnetzbetreibers und den örtlichen Gegebenheiten abhängig.<sup>19</sup>

Die Muffenabstände hängen von den auf den Kabelspulen transportierbaren Kabellängen ab. Dabei begrenzt v. a. das Kabelvolumen die Kabellänge und damit die Muffenabstände: Je größer der Kabelquerschnitt, desto größer sind das Gewicht und das Kabelvolumen und desto kürzer ist das transportierbare Kabel. Die VPE-Kabel haben Kabellängen zwischen ca. 900 und 1.200 m; die Kabelspulen wiegen zwischen 40 und 50 t.<sup>20</sup> Da Muffen eine erhöhte Fehleranfälligkeit besitzen (vgl. ENTSO-E 2013), muss die Funktionsfähigkeit regelmäßig

---

<sup>15</sup> Während Amprion sich bei der Realisierung des EK-Abschnitts bei Raesfeld für Kabelschutzrohre entschieden hat, sehen bisherige Planungen der TenneT (z. B. im Zuge der Tasse Wahle – Mecklar) eine Verlegung direkt in das Kabelbett vor.

<sup>16</sup> Hier: durch Erschließung/Zuwegung und Freiheit von störendem Bewuchs.

<sup>17</sup> Dies kann u. U. einige Zeit in Anspruch nehmen und die Ausfallzeit verlängern.

<sup>18</sup> Im Fallbeispiel 380Randstad-Zuidring (NL) wurden Betonplatten untergelegt, um die Muffen zu fixieren und ein Absinken im stark organischen und feuchten Untergrund zu verhindern.

<sup>19</sup> So bevorzugen beispielsweise Amprion und TenneT nach dem derzeitigen Planungsstand eine direkte Erdverlegung der Muffen bei Kabelprojekten, während 50Hertz feste Muffenbauwerke plant.

<sup>20</sup> Im Fall von Raesfeld waren die Kabel 1.200 m lang; die Kabelspulen hatten ein Gewicht von 50 t.

überprüft werden. Dies muss laut Brüggmann (09.02.2016) nicht zwingend durch Aufsuchen der Muffe erfolgen. Eine Diagnostik kann über die Schirmausleitung (siehe unten) erfolgen. Die Zugänglichkeit der Muffen zu Inspektionszwecken ist also nicht fortlaufend erforderlich.

Zur Verhinderung von Schirmströmen werden die Kabelschirme bei HDÜ-Erdkabelabschnitten zyklisch miteinander verbunden, dazu benötigt jede Muffe eine Schirmausleitung. Die Schirmverbindung erfolgt in Boxen, die in Schächten untergebracht werden (sog. „Cross-Bonding-Kästen“) Cross-Bonding-Muffen können ebenfalls unterschiedlich ausgeführt sein. Gängig, aber nicht zwingend erforderlich, ist z. B. ein begehbare Schacht (mit Abdeckung) in dem die ausgekreuzten Kabelschirme zusammengeführt werden. Der Schacht soll zu Wartungszwecken zugänglich sein (vgl. EFZN/HOFMANN 2012, 26), jedoch kann eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit auch durch elektronische Messsysteme erfolgen.

### **Kabelübergabeanlagen (KÜA)**

An den Übergangspunkten von Freileitung zu Erdkabel sind Kabelübergabeanlagen erforderlich. Die Anlagen sind unverzichtbarer Bestandteil einer Erdverkabelungsanlage im HDÜ-Netz. Der Flächenbedarf liegt zwischen 1.000 und 2.500 m<sup>2</sup>. In der Regel werden Portalmasten für die Auf- oder Abführung verwendet. Da auch die Endverschlüsse an den Übergabeanlagen eine erhöhte Fehleranfälligkeit (vgl. ENTSO-E 2013) besitzen, liegt es im Interesse der Netzbetreiber, die Anzahl der KÜA zur Gewährleistung der Betriebs- und Versorgungssicherheit zu begrenzen.

### **2.2.2 HGÜ-Verbindungen**

HGÜ-Verbindungen kommen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen vor. Neben Seekabelverbindungen und Offshore-Anbindungen („Punkt-zu-Punkt-Verbindungen“) sollen die im Bundesbedarfsplan verankerten HGÜ-Gleichstromverbindungen zukünftig Teil des sog. „Overlaynetzes“ sein.<sup>21</sup> Dieses ist durch Umspannwerke mit Konverterstationen mit dem Wechselstromnetz verbunden. Als Teil eines vermaschten Wechselstromnetzes unterliegen die „einzubindenden“ Gleichstromverbindungen sehr hohen Anforderungen hinsichtlich der bedarfsgerechten, Millisekunden genauen Steuerung der Stromübertragung und -wandlung. Die Technologie ist somit anspruchsvoller als die einer reinen Punkt-zu-Punkt-Verbindung. Die Komponenten dieser Technologie (v. a. Schalter, Konverter für hohe Leistungen und hohe Spannungen) befinden sich teils noch in der Entwicklung und Erprobung. Im Folgenden werden die Merkmale und Charakteristika der Gleichstromübertragung soweit möglich nach den Anwendungsbereichen der Technik differenziert.

---

<sup>21</sup> Der Begriff Overlay-Netz (oder Grid) bezeichnet ein Fernstrecken-Stromnetz, als „Sammelnetz“ für erneuerbare Energien. Es soll dazu beitragen, große Mengen EE-Strom aufzunehmen und durch Lastverschiebung zu den Verbrauchsschwerpunkten oder ins Ausland das Versorgungsnetz zu stabilisieren.

## Anwendungsbereiche HGÜ

In skandinavischen Ländern sowie in Flächenstaaten wie den USA gibt es HGÜ-Länderkabelverbindungen schon seit Jahrzehnten. Als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen übertragen sie große Leistungen verlustarm über weite Strecken. Ein weiterer Anwendungsbereich für Gleichstromübertragungstechnik sind internationale Seekabelverbindungen (Interkonnektoren).<sup>22</sup>

Der Anwendungsbereich von HGÜ konzentriert sich hierzulande bisher auf die Anbindung von Offshore-Windparks.<sup>23</sup> Die Offshore-Anbindungen befinden sich in unterschiedlichen Realisierungsstadien und weisen Nennspannungen von  $\pm 150$  kV-DC bis  $\pm 600$  kV-DC auf. Der Einsatz von HGÜ-Systemen zur Übertragung großer Leistungen an Land wird in Deutschland erst seit wenigen Jahren verfolgt. Am weitesten fortgeschritten ist die Planung eines Interkonnektors zwischen Deutschland und Belgien. Zum Betrieb von HGÜ-Verbindungen mit großen Übertragungsleistungen sowie zur Einbindung großer Leistungen in das Drehstromnetz liegen derzeit keine Betriebserfahrungen vor.

### Betriebsmittel

Für die Übertragung kommen Massekabel und VPE-Kabel in Betracht. Grundsätzlich kommen VPE-Kabel und MI-Kabel (siehe unten) für die Übertragung in Frage.

MI-Kabel (Masseimprägnierte Kabel) sind mit ölgetränkten Kabelpapierbändern umwickelt. Das Papier wird mit verschiedenen Harzen und Mineralöl imprägniert und bildet eine zähe Masse um das Kabel. Diese Kabel weisen eine gewisse Biegefähigkeit auf. Dieser Kabeltyp entspricht bis zu einem Spannungsbereich von  $\pm 525$  kV den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Es bestehen langjährige Anwendungserfahrungen bei See- und Landverbindungen.

VPE-Kabel wurden in Aufbau und Eigenschaften bereits unter Kapitel 2.2.1 beschrieben. Die VPE-Kabeltechnologie wird für Gleichstromübertragung bisher bis zu einem Spannungsbereich von  $\pm 320$  kV angewandt. In diesem Bereich entspricht ihre Anwendung den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Im Jahr 2014 wurde eine neue VPE-Kabeltechnologie für den Spannungsbereich bis  $\pm 525$  kV entwickelt und u. a. auf der Fachkonferenz CIGRE<sup>24</sup> vorgestellt (vgl. ABB 12.10.2015). Die  $\pm 525$  kV-Kabeltechnologie würde nach ABB (12.10.2015) eine Reihe von Vorteilen gegenüber MI-Kabeln aufweisen.<sup>25</sup> Insbesondere

---

<sup>22</sup> vgl. internationale Seekabelverbindungen in Nord- und Ostsee, u. a. Baltic Cable (Deutschland-Schweden, 250 km,  $\pm 450$  kV); NorNed (Norwegen-Niederlande, 580 km,  $\pm 450$  kV); BritNed (Großbritannien-Niederlande, 260 km,  $\pm 450$  kV) mit  $\pm 400$  kV pro Kabel.

<sup>23</sup> Hier wird HGÜ-Technik eingesetzt, da ab ca. 70 km Kabellänge bei Drehstromübertragung zu hohe Übertragungsverluste auftreten würden.

<sup>24</sup> CIGRE (International Council on Large Electricity Systems) ist ein technischer Fachverband mit Sitz in Paris. Die CIGRE Technical Brochure (TB) No. 496 von 2012 beschreibt die Anforderungen und Testbedingungen, die DC-Kabelsysteme erfüllen müssen.

<sup>25</sup> Bei idealen Verlegebedingungen kann die Übertragungskapazität im Vergleich zum MI-Kabel verdoppelt werden. Es müssen also nur halb so viele Kabel verlegt werden (z. B. 2 VPE statt 4 MI-Kabel). Zugleich reduziert sich das Kabelgewicht je installiertem Megawatt, so dass größere Kabellängen und damit größere Muffenabstände möglich sind.

würden für dieselbe Übertragungsleistung geringere Trassenbreiten entstehen. Nach LUNDBERG ET AL. (2015) wurde die  $\pm 525$  kV-VPE-Kabeltechnologie entsprechend der CIGRE-Anforderungen erfolgreich getestet. Die Anwendung von  $\pm 525$  kV-VPE-Kabeln ist jedoch noch nicht in der Praxis erprobt, so dass die Erfüllung der allgemein anerkannten Regeln der Technik noch nicht erreicht ist. Ab wann VPE-Kabel der Spannungsebene  $\pm 525$  kV zum Einsatz kommen können, ist derzeit noch unsicher.

Um HGÜ-Verbindungen in das Netz einbinden zu können, sind *Konverter* und *HGÜ-Leistungsschalter* an den Endpunkten der Gleichstromverbindung erforderlich (LUNDBERG ET AL. 2015). Zu ihrem Einsatz liegen noch keine Langzeiterfahrungen vor.

### **Verlegung und Betrieb**

Für Verlegung und Betrieb in einem oder mehreren Gräben gelten dieselben Erwägungen wie für HDÜ-Kabelanlagen.

Im Vergleich zu HDÜ-Erdkabelanlagen sind bei HGÜ-Verbindungen pro System zwei Kabel (i. d. R. MI-Kabel) zu verlegen. Wird ein Rückleiter (Metallic Return - MR) mitverlegt, kommt ein drittes Kabel hinzu.

HGÜ-Systeme haben einen etwas geringeren Platzbedarf, u. a. weil sich die Kabel thermisch weniger stark beeinflussen und daher die einzuhaltenden Abstände geringer sind. Bei gleicher Übertragungsleistung und gleicher Verlegeform würden HGÜ-Erdkabelanlagen daher etwas weniger breit sein als HDÜ-Erdkabeltrassen.

HGÜ-Leitungen mit bis zu 1 GW können in einem Graben verlegt werden. Bei höheren Übertragungsleistungen (2 GW bzw. 4 GW) kommt ebenfalls aus Sicherheitsgründen und zur erleichterten Fehlerfallbehebung eine Verlegung in mehreren Gräben in Betracht (z. B. je 1 System mit 1 GW Übertragungsleistung/Graben). Bei 4 GW wären es dann entsprechend vier Gräben. Der Platzbedarf durch die thermisch möglichen geringeren Abstände wird bei einer derartigen Verlegeform durch den höheren Platzbedarf für die Einzelgräben und dazwischen einzuhaltende Abstände wettgemacht.

An Engpassstellen wäre auch eine Verlegung auf zwei Ebenen (übereinander) denkbar. Dies würde ein Abweichen vom generellen Fehlerfallkonzept bedeuten und müsste mit entsprechend gewichtigen Belangen begründet werden.

Würden im Spannungsbereich  $\pm 525$  kV VPE-Kabel zum Einsatz kommen, würden nur halb so viele Kabel benötigt, was den Platzbedarf der Kabeltrasse deutlich reduzieren würde.



werden. Inwieweit dies auch bei den großen Gleichstrompassagen in Betracht gezogen wird, ist noch unklar.

## **Muffen**

Die Kabelverbindung durch Muffen erfolgt in ähnlicher Weise wie bei Drehstromkabeln (vgl. Kapitel 2.2.1). MI-Kabel, die dünner und leichter sind als VPE-Kabel, ermöglichen größere Muffenabstände. Cross-Bonding-Kästen sind bei HGÜ-Erdkabeln nicht erforderlich.

## **Kabelübergabeanlagen**

Ebenso wie im HDÜ-Netz können im Zuge von HGÜ-Trassen Kabelübergabeanlagen zur Auf- bzw. Abführung der Kabel erforderlich werden, z. B. wenn im Zuge der mit einem Erdkabelvorrang versehenen HGÜ-Trassen vom Erdkabelvorrang abgewichen und eine Freileitung realisiert werden soll. Je nach Übertragungsleistung und Anzahl der HGÜ-Kabel können anstelle von Portalmasten auch einzelne Abspannmasten für die Auf- oder Abführung verwendet werden. In diesem Fall hätte das Bauwerk geringere Abmessungen als eine Kabelübergabeanlage im HDÜ-Netz.

### **2.2.3 Konverterstationen**

Zur Einkopplung der Übertragungsleistung in das Drehstromnetz werden Konverter<sup>26</sup> an den Endpunkten jeder Gleichstromübertragungsstrecke benötigt. Bei Konvertern handelt es sich um große elektronische Schalter, die den Gleichstrom durch extrem schnelle Schaltungen in einen gepulsten Wechselstrom umwandeln. Gegenwärtig sind Konverter für Leistungen bis 900 MW verfügbar. Wird eine höhere Leistung benötigt, werden mehrere Konverter modular geschaltet. Die Baukomponenten von Konverterstationen sind davon abhängig, welche der beiden Technologien, netzgeführte und selbstgeführte bzw. spannungsgeführte HGÜ-Konverter<sup>27</sup> verwendet wird.

Die „traditionelle bzw. netzgeführte Stromrichter HGÜ-Technik“ (LCC = Line Commutated Converter) wird im Hochleistungsbereich der Gleichstromübertragung eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein Übertragungssystem mit Thyristortechnologie.<sup>28</sup> Die Thyristor-Stromrichter verursachen je nach Größe der Anlage einen Schalldruck von 80 bis 95 dB/A und müssen daher aus Lärmschutzgründen in Gebäuden installiert werden. Solche Systeme finden bei der See- und Erdkabelübertragung, der Kopplung asynchroner Netze durch HGÜ-Verbindungen im Offshore-Bereich und bei Transport besonders hoher Leistungen Anwendung (vgl. FUCHS ET AL. 2014, 5 f.). Die LCC-Technologie ist jedoch nicht geeignet, um mit VPE-Kabeln betrieben zu werden (ebd., 4).

Die selbstgeführte bzw. spannungsgeführte VSC-HGÜ-Technik (HGÜ) stellt eine Weiterentwicklung dar. Die VSC-HGÜ wird im Spannungsbereich von  $\pm 150$  kV bis  $\pm 320$  kV bei den in

---

<sup>26</sup> Synonyme Bezeichnungen hierfür sind Umrichter- oder Stromrichter.

<sup>27</sup> Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Konvertertypen und ihrer Funktionsweise findet sich unter [http://en.wikipedia.org/wiki/HVDC\\_converter](http://en.wikipedia.org/wiki/HVDC_converter).

<sup>28</sup> Hierbei werden Thyristorventile als zentrale Bauelemente zur Gleichrichtung eingesetzt. Bis zu 100 oder mehr Thyristoren hintereinander geschaltet, ergeben ein Thyristorventil.

Tabelle 2-10 genannten Offshore-Verbindungen eingesetzt.<sup>29</sup> Hier werden VPE-Kabel verwendet (FUCHS ET AL. 2014, 4). Die VSC-Technik weist Vorteile gegenüber der netzgeführten HGÜ-Technik auf, kommt aber nur für die Übertragung geringer Leistungen in Frage (vgl. FUCHS ET AL. 2014, 11). Ein Vorteil ist z. B., dass die Geräuschemissionen geringer sind, weil keine Thyristorventile benötigt werden. Außerdem benötigt die VSC-HGÜ-Technik keine Kurzschlussleistung und es ist eine sofortige Leistungsflussumkehr (ohne Wartezeiten) möglich. Langzeiterfahrungen zum Betrieb liegen jedoch noch nicht vor. Für den Einsatz bei den geplanten HGÜ-Projekten, die mit Spannungen von 500 kV betrieben werden sollen, sind technische Weiterentwicklungen erforderlich.

Eine weitere technische Herausforderung stellen die sog. Leistungsschalter dar, die erforderlich sind, um die HGÜ-Leitungen im Fehlerfall vom Netz trennen zu können. Die Schalter müssen Schaltvorgänge bei hohen Spannungen und großen Übertragungsleistungen präzise und fehlerfrei ausführen können, damit eine vollständige Kontrolle der eingespeisten Spannung und des Stromflusses möglich ist. Die Schalter sind überdies Voraussetzungen dafür, Fehler zu isolieren und betroffene Netzgebiete abschalten zu können. Schalter mit entsprechender Leistungsfähigkeit wurden 2013 erstmals von ABB auf den Markt gebracht (Görner, 16.01.2013). Als Schalter kommen Thyristoren<sup>30</sup> oder Transistoren zum Einsatz. Werden bei den selbstgeführten HGÜ Konvertern Leistungstransistoren auf IGBT<sup>31</sup>-Basis verwendet (vgl. SENGBUSCH U. HANSON 2007), kann die Leistung deutlich gesteigert werden. Die Lärmbelastung ist hier im Vergleich zur Thyristortechnik geringer. Beide Technologien weisen jeweils Vor- und Nachteile hinsichtlich der Steuerbarkeit und Effizienz auf.

### 2.3 Übersicht der Höchstspannungs-Erdkabelprojekte (HDÜ und HGÜ)

Für das Vorhaben wurde in Deutschland und dem europäischen Ausland (A, BE, CH, DK, GB, NL) recherchiert, welche HDÜ- und HGÜ-Erdkabelprojekte bereits realisiert sind oder sich in fortgeschrittenem Planungsstadium befinden. HDÜ-Erdkabelanlagen in Tunnelbauwerken, wie sie oft im städtischen Raum realisiert sind, wurden mangels Vergleichbarkeit<sup>32</sup> nicht weiter ausgewertet.

Die recherchierten Projekte wurden nach Fallgruppen strukturiert, die sich in den Kapitel- und Tabellenüberschriften niederschlagen:

- HDÜ-Erdverkabelungen in Deutschland (im Zuge der designierten Pilottrassen)

---

<sup>29</sup> Voltage Source Converter (VSC). Bekannte Markennamen der Hersteller für selbstgeführte oder auch VSC-HGÜ sind HVDC-light (ABB) oder HVDC-plus.

<sup>30</sup> Die Thyristoren sind Halbleiterbauelemente, deren Schaltimpulse durch den Stromverlauf des Netzes bestimmt werden.

<sup>31</sup> IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor sind leistungselektronische Bauelemente, die aktiv abgeschaltet werden können. Diese Steuerung ermöglicht es, die Leistung selbstgeführter Konverter zu steigern.

<sup>32</sup> Die Vergleichbarkeit der Bauweise, der Dimensionierung und der Auswirkungen auf Natur und Umwelt zwischen Erdkabelanlagen im städtischen Raum und der freien Landschaft ist stark eingeschränkt. Darüber hinaus stellt sich bei den Tunnelbau-Kabelprojekten in der Regel auch nicht die Frage der Trassengestaltung und Begrünung.

- HDÜ-Erdverkabelungen im europäischen Ausland
- HGÜ-Verbindungen und -Interkonnektoren in Deutschland
- HGÜ-Offshore-Anbindungen (landseitig).

Innerhalb dieser Fallgruppen wurden jeweils Projekte nach folgenden Kriterien für eine vertiefte Betrachtung ausgewählt:

- Realisierung ist erfolgt oder fortgeschrittener Planungsstand liegt vor;
- Vergleichbarkeit mit anstehenden HöS-Erdkabel-Projekten (hohe Übertragungsleistung, Kabeltyp, Bauweise) ist gegeben;
- Aktualität und Verfügbarkeit der Planungsunterlagen ist gegeben;
- Repräsentanz verschiedener Landschaftsräume (Flachland/Tiefland; Hügelland) ist gegeben.

Insgesamt wurden 20 deutsche und internationale Projekte für eine Darstellung in „Steckbriefen“ (siehe Anhang) ausgewählt.

### **2.3.1 HDÜ-Erdkabelprojekte in Deutschland**

In Tabelle 2-1 sind diejenigen HDÜ-Teilverkabelungen nach § 2 Abs. 2 EnLAG aufgeführt, deren Planung sich 2015 verfestigt hatte (mind. abgeschlossenes ROV) oder – wie in einem Fall – realisiert wurden. Die mit der Rechtsänderung (EÄG vom 04. Dezember 2015) neu hinzugekommenen Projekte sind in Tabelle 2-4 aufgeführt. Die in den Steckbriefen vertieft dargestellten Projekte sind mit \* gekennzeichnet.

#### **EnLAG-Pilotvorhaben Ganderkeseersee – St. Hülfe (DE 1)**

Zunächst waren zwei Erdkabelabschnitte nahe Ganderkeseersee (UW Ganderkeseersee - KÜA Ganderkeseersee Süd und KÜA Havekost - KÜA Klein Henstedter Heide) geplant, die durch einen lediglich 1,45 km langen Freileitungsabschnitt<sup>33</sup> getrennt waren. Im Rahmen einer nachträglichen Alternativplanung wurden fünf weitere EK-Abschnitte<sup>34</sup> für eine Erdverkabelung vorgesehen. Insgesamt stellte das NLStV am 31.03.2016 vier Abschnitte fest. Neben den beiden oben genannten Abschnitten auch die Erdkabelabschnitte KÜA Rüssen-Nord – KÜA Aldorf-Nord sowie KÜA Dickel-West bis UW St. Hülfe. Die Bestandskraft (Unanfechtbarkeit) des Beschlusses bleibt abzuwarten (NLStV 2016, online).

---

<sup>33</sup> Abschnitt zwischen KÜA Ganderkeseersee Süd bis KÜA Havekost.

<sup>34</sup> KÜA Wildeshausen Ost - KÜA Reckum (3,3 km); KÜA Hölingen - KÜA Colnrade (3,7 km); KÜA Rüssen Nord - KÜA Aldorf Nord (5,7 km); KÜA Heitmannshäusern - KÜA Düste Süd (3,0 km); KÜA Dickel West - UW St. Hülfe (5,6 km)

Tabelle 2-1: 380-kV-HDÜ-Erdkabelprojekte in Deutschland (bis Dezember 2015)<sup>35</sup>

Kürzel	Trasse / Abschnitt	Systeme/ Kabeltyp	Länge [km]	(Verfahrens)-Stand	Bauweise	Betreiber / Projektinfos
DE 1	Ganderkesee-Wehrendorf					
	Abschnitt 3: St. Hülfe - Ganderkesee *	4 Syst. (2x2)  12 VPE-Kabel	3,6  3,1	PFB für 2 Kabelabschnitte bei Ganderkesee sowie für zwei weitere erfolgt	Verlegetiefe 1,75 m  Verlegung in Kabelschutzrohren geplant	TenneT TSO <a href="http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/...">http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/...</a>
DE 2	Dörpen West – Niederrhein					
	im Abschnitt 2) Bredenwinkel - Borken Süd (KÜS Löchte – KÜS Diestegge bei Raesfeld) *	2 x 2 Systeme 12 VPE-Kabel	3,4	Bauabschluss 2014; Abschluss Rekultivierung : 2015  Inbetriebnahme ab 2017	Offene Bauweise (Verlegetiefe ca.1,8 m)  Verlegung in Kabelschutzrohren; Bettung in Flüssigboden	Amprion
	im Abschnitt 3) Borken Süd – Nordvelen, KÜS Marbeck – KÜS Lüningkamp,	2 x 2 Systeme 12 VPE-Kabel	3,4	PFV läuft	Offene Bauweise (Verlegetiefe: ca.1,8 m); Verlegung in Kabelschutz-rohren	
	im Abschnitt 5) Legden Süd - Wettringen	dito	5,6.	k.A.	Offene Bauweise (Verlegetiefe: ca.1,8 m); Verlegung in Kabelschutz-rohren	
	im Abschnitt 8) Meppen – Dörpen West	2 x 2 Systeme 12 VPE-Kabel	3,1	PFV läuft	Offene Bauweise	TenneT TSO
DE 3	Wahle-Mecklar					
	im Abschnitt A (UW Wahle – UW Lamspringe)	vsl. 2x 2 Systeme; 12 VPE-Kabel		Bisher PFV für FL; nach EÄG soll nun Prüfung, erfolgen, wo der langstrecken-EK-Abschnitt liegen soll.	Langstrecken-erdkabel (10 – 20 km)	TenneT TSO Infos: <a href="http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/...">http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/...</a>
	im Abschnitt B: Anbindung PSKW Erzhausen	2 Systeme VPE-Kabel	1,9	PFV eröffnet	Stichstrecke (Kraftwerksanbindung) mit geringerer Übertragungsleistung	
im Abschnitt C: Hetjershausen – Ohlenhusen *	2x 2 Systeme; 12 VPE-Kabel	5,5	PFV eröffnet	Offener Kabelgraben; Gelände mit leichter Topographie		

<sup>35</sup>Bei allen Tabellen ohne Quellenangabe handelt es sich um eigene Zusammenstellungen.

## **EnLAG-Pilotvorhaben Dörpen-West – Niederrhein (DE 4) - Erdverkabelung**

Die geplante 380 kV-Leitung zwischen dem Umspannwerk Dörpen-West<sup>36</sup> bis Wesel am Niederrhein ist in acht Planfeststellungsabschnitte (Abschnitte 1 bis 8) aufgeteilt. Sechs Abschnitte liegen in Nordrhein-Westfalen (zuständig: Amprion) und zwei Abschnitte in Niedersachsen (zuständig: TenneT). Die im Folgenden verwendete Bezeichnung der Planfeststellungsabschnitte bezieht sich auf die „offizielle“ Nummerierung (vgl. BNetzA, online; EnLAG-Monitoring). Innerhalb der Planfeststellungsabschnitte bilden die Erdkabelabschnitte wiederum Unterabschnitte, die i. d. R. nach den Endpunkten bzw. der Lage der Kabelübergangsstationen (KÜS) benannt sind. Im Folgenden sind nur die Planfeststellungsabschnitte, die Erdverkabelungen enthalten, aufgeführt.

### *Abschnitt 2 „Bredewinkel – Borken Süd“ (Amprion)*

In diesem Abschnitt wurde der HDÜ-Erdkabelabschnitt KÜS Löchte – KÜS Diestegge („Raesfeld“) realisiert (vgl. Steckbrief „DE2 - Trasse Raesfeld“ im Anhang).

### *PFST-Abschnitt 3 „Borken Süd – Nordvehlen“ (Amprion)*

Der Erdkabelabschnitt 3 zwischen den KÜS Marbeck und Lüningskamp soll 3,4 km lang sein. Zu den im Dezember 2014 ausgelegten Planfeststellungsunterlagen erfolgten Planänderungen / Ergänzungen, die im April 2015 erneut ausgelegt wurden. Gegenwärtig werden die Einwendungen vom Antragsteller bearbeitet (Stand 01/2016).

### *PFST-Abschnitt 5 „Legden-Süd – Wettringen“ (Amprion)*

Der Erdkabelabschnitt 5 zwischen Legden-Süd und Asbeck ist 5,6 km lang. Die Planfeststellungsunterlagen sind noch in Erarbeitung.

### *PFST-Abschnitt 8 „UW Meppen – Dörpen-West (Heede)“ (TenneT)*

Der beantragte Planfeststellungsabschnitt (Abschnitt 8) im Landkreis Emsland hat eine Länge von etwa 31,3 km (vgl. NLStV online, 23.11.2015). Die Teilverkabelung von 3,1 km Länge ist zwischen Dankern und Segberg im Gebiet der Stadt Haren, Ems, geplant. Gegenwärtig werden im Planfeststellungsverfahren (Eröffnung Oktober 2014) Stellungnahmen und Einwendungen bearbeitet. Die im Zuge der Gesamttrasse Dörpen-West-Niederrhein geplanten (grau) und teils bereits realisierten Erdkabelabschnitte (blau) sind in Tabelle 2-2 im Überblick dargestellt:

---

<sup>36</sup> Der ursprüngliche Startpunkt Diele wurde im Zuge der Planung durch den südlichen Startpunkt Dörpen-West ersetzt.

Tabelle 2-2: Übersicht Erdkabelabschnitte in den Planfeststellungsabschnitten der Trasse Dörpen-West-Niederrhein

Planfeststellungsabschnitt	HDÜ-Erdkabelabschnitte nach Planungsstand 04/2015	Länge
Abschn. 2 Bredenwinkel-Borken Süd	Erdkabelabschnitt KÜS Löchte – KÜS Diestegge (Raesfeld)	3,4 km
Abschn. 3 „Borken Süd-Nordvehlen	Erdkabelabschnitt KÜS Marbeck – KÜS Lüningkamp	3,4 km
Abschn. 5 Legden-Süd-Wettringen	Erdkabelabschnitt Legden-Süd -Asbeck	5,6 km
Abschn. 8 UW Meppen-Dörpen-West	Erdkabelabschnitt Haren, zwischen Dankern und Segberg	3,1 km

### EnLAG-Vorhaben Wahle – Mecklar (DE 3)

Das geplante Leitungsbauvorhaben Wahle-Mecklar ist als Pilotvorhaben in § 2 Abs. 1 EnLAG aufgeführt. Die Gesamttrasse wurde in vier Planfeststellungsabschnitte unterteilt:

Tabelle 2-3: Übersicht Erdkabelabschnitte in den Planfeststellungsabschnitten der Trasse Wahle-Mecklar

Planfeststellungsabschnitt	HDÜ-Erdkabelabschnitte nach Planungsstand 01/2016	Länge
Abschnitt A Wahle – UW Lamspringe	Pilotvorhaben Langstrecken-Erdverkabelung	10-20 km
Abschnitt B UW Lamspringe – UW Hardeggen	Anbindung PSKW Erzhausen (Kraftwerksanschluss)	1,95 km
Abschnitt C UW Hardeggen – Landes-grenze	Erdkabelabschnitt Hetjershausen – Olenhusen (5,5 km)	5,5 km
Abschnitt D Landesgrenze – UW Mecklar	keine Erdkabelabschnitte geplant	-/-

Im Zuge des Abschnitts A Wahle- UW Lamspringe ist nach neuer Rechtslage (vgl. EÄG) ein Pilotprojekt für eine Langstreckenverkabelung (10 bis 20 km) vorgesehen. Die bisherigen Planfeststellungsunterlagen müssen entsprechend überarbeitet werden, die Lage des Erdkabelabschnitts ist zu bestimmen. Unterlagen hierzu sind (Stand 01/2016) noch nicht verfügbar.

Die Erdverkabelung im Teilabschnitt B zur Anbindung des Pumpspeicherkraftwerks (PSWK) Erzhausen umfasst nur ein System (insges. 6 Kabel). Die Trassendimensionen sind geringer; der freizuhalten Schutzstreifen wird mit 8,50 m (4,25 m beidseits der Leitungssachse) angegeben. Planänderungen haben zu einer Verzögerung geführt, so dass der Bau noch nicht begonnen hat.

Die 5,5 km lange Kabeltrasse im Teilabschnitt C „UW Hardeggen – Landesgrenze Hessen“ beginnt östlich von Hetjershausen<sup>37</sup> und endet bei Olenhusen. Gegenwärtig (Stand 01/2016) werden die Stellungnahmen und Einwendungen der Öffentlichkeitsbeteiligung von TenneT bearbeitet (Gegenäußerung). Daran wird sich die Durchführung eines Erörterungstermins anschließen. Im Abschnitt D ist nach der Übersichtskarte keine Erdverkabelung geplant.

### EnLAG-Vorhaben Altenfeld – Redwitz der Leitung Lauchstädt – Redwitz (DE 4)

Im Zuge der genannten Trasse sind vom Übertragungsnetzbetreiber 50Hertz derzeit keine Kabeltrassen geplant. Der Erdkabelabschnitt zur Querung des Rennsteigs wurde im Zuge der Planungen verworfen.

### 2.3.2 Neue HDÜ-Vorhaben

Mit der Änderung des EnLAG 2015 und dem Inkrafttreten des EAG im Dezember 2015 wurden im EnLAG und im Bundesbedarfsplan weitere Projekte benannt, bei denen Erdkabelabschnitte möglich sind. Diese befinden sich in der Mehrzahl noch in einem Vorplanungsstadium und werden daher separat dargestellt.

Tabelle 2-4: Nach Rechtsänderung (EÄG vom 04.12.2015) hinzugekommene HDÜ-Erdkabelabschnitte

380-kV-HDÜ-Pilotvorhaben, Stand 04/2016	Rechtsgrundlage
Rheinquerung der Leitung Niederrhein – Uforth – Osterath Die Voraussetzung dafür, die Rheinquerung per Kabel auszuführen, wurde Ende 2015 durch Aufnahme des Projektes in das EnLAG geschaffen. Amprion prüft, wo und wie eine Unterquerung des Rheins möglich ist. Planungsunterlagen zu diesem EK-Abschnitt sind derzeit nicht öffentlich verfügbar.	EnLAG
Leitung Wehrendorf – Gütersloh Nach derzeitigem Planungsstand (ROV) ist im Abschnitt UW Lüstringen – Punkt Melle ein Erdverkabelungsabschnitt zwischen dem UW Lüstringen und der BAB A 30 (bei Voxtrup) vorgesehen (ARL Weser-Ems, 12.04.2016 online). Das Erdkabel würde u. a. ein Trinkwasserschutzgebiet sowie ein Waldstück queren. Das 2014 eingeleitete ROV ist noch nicht abgeschlossen.	EnLAG
Leitung Conneforde – Cloppenburg Ost – Merzen Das Vorhaben befindet sich noch in einem frühen Planungsstadium; die ROV-Unterlagen wurden eingereicht (ARL Weser-Ems, 12.04.2016 online). Es wurde bisher kein Erdkabelabschnitt festgelegt.	BBPIG Nr. 6
Leitung Stade – Sottrum – Wechold – Landesbergen Die Leitung besteht aus drei Teilabschnitten. Überwiegend wird eine bestehende 220-kV-Leitung durch eine leistungsstärkere 380-kV-Leitung ersetzt. Es soll geprüft werden, ob Erdkabel-Abschnitte auch in den Abschnitten mit Ersatzneubau in Frage kommen.	BBPIG Nr. 7
Leitung Wilhelmshaven – Conneforde Das Projekt enthält zwei Erdkabelabschnitte. Der erste verläuft durch Neustadtgödens (1,5 km), der	BBPIG Nr. 31

<sup>37</sup> Das 380-kV-Erdkabel schwenkt hinter dem Wäldchen Gronespring nach Südosten und folgt zuerst dem Verlauf der Bundesautobahn A 7 und anschließend der ICE-Strecke Hannover - Würzburg auf der westlichen Seite. Er endet südlich des Rittergutes Olenhusen (vgl. NLStV online, 19.03.2015).

380-kV-HDÜ-Pilotvorhaben, Stand 04/2016	Rechts- grundlage
zweite durch die Gemeinde Bockhorn (3,5 km). Insgesamt würden 5 km der insgesamt 30 km langen Leitung verkabelt. Die Planfeststellungsunterlagen wurden im März 2015 eingereicht.	
Leitung Emden Ost – Conneforde  Hier soll eine vorhandene 220-kV-Leitung durch eine 380-kV-Leitung ersetzt werden. Das zuständige Amt für regionale Landesentwicklung Weser-Ems hat das Raumordnungsverfahren für den Bau einer 380-kV-Freileitung abgeschlossen. Die Lage möglicher Erdkabelabschnitte soll geprüft werden.	BBPIG Nr. 34
Leitung Kreis Segeberg – Lübeck – Siems – Göhl  Für die Ausführung als Freileitung liegt bereits eine Grobtrassierung vor. Im Dialogverfahren zur Erdverkabelung wurden insgesamt neun Prüfabschnitte gekennzeichnet, die für eine Verkabelung in Frage kommen.	BBPIG Nr. 42

### 2.3.3 HDÜ-Projekte im europäischen Ausland

Bei der Recherche nach bereits realisierten oder in Planung befindlichen HDÜ-EK-Projekten im benachbarten europäischen Ausland wurden Tunnelprojekte aufgrund der eingeschränkten Vergleichbarkeit ausgeschlossen. Die Übersicht in Tabelle 2-5 enthält daher lediglich Projekte, die in Grabenbauweise mit und ohne Unterbohrungen errichtet wurden.

Im Anschluss an die Tabelle werden Informationen zu einzelnen Projekten ergänzt. Mit \* gekennzeichnete Projekte sind in den Steckbriefen (vgl. Anhang) ausführlicher beschrieben.

Tabelle 2-5: HDÜ-Erdkabelprojekte (Bestand und Planung) in den Nachbarländern

Kürzel	Standort / Bezeichnung	Systeme / Kabeltyp	Länge [km]	Inbetriebnahme	Bauweise	Betreiber / Projektinfos
BE 1	Projekt Stevin; Van Maerlant-Gezelle *	2 / VPE	10 km	ab 2018?	Ein Kabelgraben; Verlegung in 4 Dreierbündeln; Kanalquerung erforderlich; Lage in Natura 2000-Gebiet	Elia
DK 2	Jütland (Aalborg – Aarhus, 400 kV)	2 / VPE		2004	3 Kabelabschnitte im Gesamtverlauf; Ungekühlte Erdverlegung	Energinet.dk (Zusammenschluss Stromnetzbetreiber Eltra, Elkraft System, Elkraft Transmission, Erdgasnetzbetreiber Gastra)  Infos: <a href="http://www.generalable-fr.com/Portals/france/pdf/fr/2172_Denmark.pdf">http://www.generalable-fr.com/Portals/france/pdf/fr/2172_Denmark.pdf</a>
	a) Tebbestrup-Hornbaek		2,5		Kabelgraben – 1,5 m tief, Schutzrohre bei Querung von Straßen bzw. eines Flusses	
	b) Katbjerg-Bramslev		4,5		Fjord-Querung als Seekabel Verlegetiefe an Land 1,5 m Querung in wassergefüllten Plastikrohren	
	c) Indkilde-dalen *		7,0		Kabelgraben – 1,5 m tief, Schutzrohre bei Querung von Straßen	

Kürzel	Standort / Bezeichnung	Systeme / Kabeltyp	Länge [km]	Inbetriebnahme	Bauweise	Betreiber / Projektinfos
NL 1	Randstad380 Wateringen – Zoetmeer (Zuidring) (NL) EK Abschnitt Delft – Pijnacker *	2 / VPE	10	Probebetrieb seit Mai 2013	Teilverkabelung; schließt an 380 kV-Freileitungsring der TenneT an; Verlegung direkt in Erde, in Unterbohrungsabschnitten in Kunststoffrohren;	TenneT TSO GmbH Infos: <a href="http://www.randstad380k.v.nl">www.randstad380k.v.nl</a> <a href="http://en.vshanab.nl/en/projects/detail/randstad-380">http://en.vshanab.nl/en/projects/detail/randstad-380</a>
UK 1	Middlesbrough – York Abschnitt Nunthorpe – Newby (UK)	2x2 / MI	5,7	2003	Vier parallele Ölkabelsysteme im Kabelgraben, ungekühlt; Erdverkabelung im York-Tal (Landschaftsschutz; Nähe Naturschutzgebiet)	National Grid Infos <sup>38</sup>
UK 2	Bramley - Didcot (West Berkshire)	VPE	3,5	2009	Ersatzneubau; Austausch Ölkabel	National Grid; keine Projektauskunft
CH 1	Beznau – Birr Abschnitt Bözberg/ Gäbihübel *	2/ VPE	1,3 km	Baubeginn 2016	Verkabelungsabschnitt im Annäherungsbereich; Minimierung der EMF; Blockverlegung	Swiss Grid

### HDÜ-Erdkabelprojekt „Stevin“ in Belgien

Die ca. 10 km lange Erdverkabelung im Zuge des 380-kV-HDÜ Netzausbauprojekts zwischen Van Maerlant und Gezelle („Stevin“) dient der verträglichen Querung eines Kanals und eines Natura 2000 Gebietes (Feuchtgebiet). In den Planungsunterlagen werden die Auswirkungen von Bettungsmaterialien auf den Wasserhaushalt und Möglichkeiten der Vermeidung baubedingter Entwässerungseffekte thematisiert. (vgl. Steckbrief BE 1 im Anhang).

### Realisierte Erdkabelprojekte in DK und NL; Projektexkursionen

Die HDÜ-Trasse Aalborg – Aarhus ist mit drei Teilverkabelungsabschnitten bereits seit 2004 in Betrieb. In allen Abschnitten war es das Ziel, durch die Erdverkabelung eine Konfliktminderung in Landschaftsschutzgebieten zu erreichen. Indkilledalen liegt in einem ehemaligen Fjordgebiet, die vorherrschenden Böden im Niederungsbereich der Indkilde sind sehr feucht. Die Flächen werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Zugleich dient die Niederung als Naherholungsgebiet, so dass die Trassengestaltung bzw. die Einbindung der Trasse in die Landschaft eine wichtige Rolle spielte (vgl. Steckbrief „DK1 - Skudshale-Gistrup - Indkilledalen“). Im September 2015 fand ein Erfahrungsaustausch mit dem dänischen Übertragungsnetzbetreiber Energinet.dk statt. Im Zuge einer Exkursion wurde ein 6,9 km langes 380-kV-HDÜ-Erdkabelprojekt quer durch das Vejle Ådal besichtigt.

<sup>38</sup> Fotos z. B. unter: [http://www.jicable.org/Workshops/WETS07/contributions/WETS07%20-%20T4-02%20-%20S-Swinger\\_Nunthorpe.pdf](http://www.jicable.org/Workshops/WETS07/contributions/WETS07%20-%20T4-02%20-%20S-Swinger_Nunthorpe.pdf)

Das ca. 10 km lange HDÜ-Erdkabel Delft – Pijnacker im Abschnitt Wateringen – Zoetmeer ist seit 2013 in Betrieb. Es gehört zum Randstad380-Projekt. Weitere Projektdetails, auch über die heutige Nutzung der Trasse, finden sich im Steckbrief (NL 1; vgl. Anhang). Ein etwas kürzerer Erdkabelabschnitt im Zuge des Noordring ist in Planung bzw. teilw. bereits im Bau. Im Juni 2015 fand ein Erfahrungsaustausch mit dem niederländischen Übertragungsnetzbetreiber TenneT statt; u. a. wurden Ortsbesichtigungen vorgenommen.

### **HDÜ-Erdkabel in der Schweiz**

Die in Planung befindliche Teilverkabelung im Zuge der 380-kV-Trasse Beznau – Birr nahe Riniken ist das erste Projekt, bei dem ein EK-Projekt in das 380-kV-Netz eingebunden wird. Der „Steckbrief“ CH 1 (vgl. Anhang) gibt Aufschluss über die Projektdaten und Realisierungsanforderungen in einem topographisch bewegten Gelände.

Bei den in der Schweiz bereits realisierten HöS-Erdkabelprojekte „Spreitenbach“ (220 kV) und Mendrisio - Cagno<sup>39</sup> (380 kV) handelt es sich um Verbindungen mit Sonderfunktionen, die hinsichtlich ihrer Übertragungsleistung und Betriebsführung mit den in Deutschland geplanten Projekten nicht vergleichbar sind.

### **HDÜ-Erdkabelprojekte in Großbritannien**

Bei dem Verkabelungsabschnitt Bramley-Didcot (3,5 km Länge) handelt es sich um einen Ersatzneubau, bei dem 2 x 400 kV Ölkabel durch VPE-Kabel ersetzt wurden. Da sich der Planungsfall „Bau in vorhandener Erdkabeltrasse“ / Ersatzneubau aktuell nicht stellt, wurde entschieden, dass das Projekt hier und im Anhang (vgl. UK 1, Steckbriefe im Anhang) zwar genannt, die Projektunterlagen hierzu aber nicht weiter ausgewertet werden.

Der 5,7 km lange Kabelabschnitt Nunthorpe – Newby (UK 2) ist Teil der North Yorkshire Leitung. Verkabelungsgrund war der Schutz der Landschaft. Der Abschnitt liegt in einer Special Landscape Area. Verwendet wurde ein MI-Kabel. Nach Fertigstellung des Abschnitts wurden einige Hecken entlang der Trasse neugepflanzt. Es sollte untersucht werden, ob diese Pflanzungen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und damit auf die Wärmeabführung des Kabels im Boden hätten. Der Steckbrief „UK1 - Nunthorpe – Newby“ enthält weitere Informationen zum Vorhaben, allerdings waren bisher keine Informationen über Grabenprofile, Verlegeteformen oder Trassenbreiten verfügbar. Die Kontaktaufnahme zu National Grid blieb leider erfolglos.

### **HDÜ-Erdkabel in Österreich und Italien**

Das Erdkabel im Zuge der 400-kV-Nordeinspeisung Wien (insgesamt 14,3 km lang) dient der Versorgung der nördlichen Wiener Bezirke. Insofern sind die Sicherheitsanforderungen andere als bei einer Netzeinbindung. Darüber hinaus wurden in Österreich bisher keine 380-kV-Erdkabelprojekte im Wechselstromnetz realisiert. Die Planung von Erdverkabelungsabschnitten im Zuge der „380-kV-Salzburgleitung“ wurde verworfen, nachdem ein energietechnisches Gutachten Höchstspannungs-Erdkabel im 380-kV-Netz nicht als „Stand der Technik“

---

<sup>39</sup> Die Leitung übernimmt eine Funktion als „Merchant Line“ und gehört nicht zum Übertragungsnetz. Es wird eine fixe, vglw. geringe Übertragungskapazität transportiert.

eingestuft hatte. Der Netzbetreiber (Austria Power Grid - APG) lehnt daher eine Teil- oder Vollverkabelung zur Schließung des 380-kV-Ringnetzes wegen der damit verbundenen Sicherheitsrisiken ab (vgl. Mayer 02.06.2014).

Über den bereits seit 2006 betriebenen HDÜ-Verkabelungsabschnitt im Bereich der Stadt Rho (Italien) waren keine Projektunterlagen im Internet verfügbar. Von weiteren Recherchen wurde abgesehen.

### 2.3.4 Auswertung der HDÜ-Projekte

Die 380-kV-HDÜ-Erdkabelprojekte weisen (mit Ausnahme der Kraftwerksanbindungen) meist 2 x 2 Systeme mit insgesamt 12 Kabeln auf. In der Regel werden VPE-Kabel verwendet. In Deutschland liegen die bisher geplanten Kabeltrassenlängen zwischen 3,1 und 5,6 km. Inzwischen ist ein Langstreckenerdkabelprojekt von 10 – 20 km Länge hinzugekommen. In den Niederlanden wurden bereits Abschnitte von 10 km Länge realisiert.

#### Verlegetiefe und Abstände

Die Verlegetiefe der HDÜ-Erdkabel variiert bei den meisten Projekten zwischen 1,5 und 1,7 bzw. 1,8 m. Lediglich für das Stevin-Projekt (BE) sind Sohliefen von 2,4 bis 3,8 m angegeben. Möglicherweise wird diese Verlegetiefe für die Unterquerung der zahlreichen Gräben benötigt.

In Tabelle 2-6 sind die aus Vorhabenbeschreibungen ermittelten Abstände der Systemelemente einzelner HDÜ-Erdkabelabschnitte im Vergleich zusammengestellt.

Tabelle 2-6: Übersicht Verlegeform und Abstände ausgewählter 380 kV-HDÜ-Erdkabelprojekte (\*geplant, \*\*realisiert)

Leitung	Leistung [MW]	Systeme	Spannung	Anordnung	Abstand Systeme	Abstand Kabelachse	Abstand Kabelanlagen
*DE 1 HDÜ Ganderkesee – St. Hülfe	2.500	2	380 kV	2 x 2 x 3	Ca. 5 m	0,60 m	2,10 m
*DE 3 Wahle – Mecklar, Abschnitt C	2.800	2	380 kV	2 x 2 x 3	7,7 m	0,75 m	1,9 m
**DE 2 Raesfeld**	3.600	2	380 kV	2 x 2 x 3	9,6 m (2 Gräben)	0,60 m	2,10 m
**DK 2c Aalborg – Aarhus - Indkilledalen	1.200	2	400 kV 150 kV	2 x 1 x 3 plus 1 x 3	4,5 m	0,35 m	k.A.
**NL 1 Zuidring Delft Pijnacker	2.640	2	380 kV	2 x 6 (äquidist.)	3,0 m	0,75 m	--
* BE 1 Stevin	3000	2	380 kV	4 x 3			

Der Abstand der Systeme zueinander (jeweils gemessen vom äußeren Rand) wird individuell festgelegt. Der geringste Abstand beträgt 3,0 m, der größte 9,6 m. Der Kabelachsabstand beträgt zwischen 0,6 und 0,75 m; eine Ausnahme bildet das dänische Fallbeispiel. Der Abstand der Kabelanlagen innerhalb eines Grabens beträgt zwischen 1,9 und 2,1 m. Es wird deutlich, dass die bestehenden technischen Standards nach unternehmensinternen und standortbezogenen Risikoabwägungen an den Einzelfall angepasst werden.

### Schutzstreifen

Der Begriff Schutzstreifen bezeichnet die gesamte grundbuchrechtlich zu sichernde Fläche, also den Trassenbereich zuzüglich der seitlichen Abstandsflächen zur Kabelachse. Die Festlegung der Schutzstreifen unterliegt technischen Sicherheitsempfehlungen zum Schutz unterirdischer Infrastruktur vor Beeinträchtigungen und zur Gewährleistung der Zugänglichkeit.<sup>40</sup> Der Schutzbereich umfasst die Kabelgräben, die Abstandsflächen zwischen den Kabelgräben und seitliche Schutzabstände. Letztere betragen nach den ausgewerteten Planunterlagen zwischen 2,0 und 2,5 m von der Achse des äußeren Kabels.

Je nach Auslegung der technischen Sicherheitsempfehlungen beträgt der Schutzstreifen bei den HDÜ-Projekten in Zwei-Grabenbauweise zwischen 21 und 25 m. In den Projektunterlagen zum niederländischen Projekt (Delft–Pijnacker) ist mit 15 m die geringste Schutzstreifenbreite angegeben. Sie geht kaum über die Kabelgrabenbreite hinaus.

Tabelle 2-7: Schutzstreifenbreite in ausgewählten HDÜ-Projekten (\*geplant; \*\*realisiert)

Leitung	Leistung [MW]	Spannung	Kabelgräben und Anordnung <sup>41</sup>	Schutzstreifen- breite
* DE 1 HDÜ Ganderkesee – St. Hülfe	2.500	380 kV	2 x 2 x 3	21 m
** DE 2 Raesfeld	3.600	380 kV	2 x 2 x 3	22,6 m
* DE 3 Wahle – Mecklar, Abschnitt C	2.800	380 kV	2 x 2 x 3	23 m – 25 m
** DK 2c Aalborg – Aarhus Indkilledalen	1.200	380 kV plus 150 kV	2 x 1 x 3 plus 1 x 1 x 3	20 m
** NL 1 Zuidring Delft - Pijnacker	2.640	380 kV	2 x 2 x 3  (die 6 Kabel eines Grabens liegen äquidistant)	15 m

<sup>40</sup> Bei Erdkabeln wird (anders als bei Erdgasleitungen) nicht zwischen einem „baufreien“ und einem „holzfreien“ Schutzstreifen unterschieden. Der baufreie Schutzstreifen ist bei Erdgasleitungen breiter als der „holzfreie“.

<sup>41</sup> Schreibweise bedeutet 2 Gräben á 2 Systeme mit je drei Kabeln.

### Landschaftstypen und Lage in den naturräumlichen Einheiten (nur deutsche Projekte)

Die Pilotprojekte und damit potenzielle Erprobungsfälle liegen bisher überwiegend im Norddeutschen Tiefland. Das Relief ist flach, die Böden sind i. d. R. grundwasserbeeinflusst. Lediglich die in Niedersachsen verorteten Erdkabelabschnitte (Abschnitt A bei Lamspringe und Abschnitt C bei Hetjershausen) liegen in schwach reliefierten Bereichen. Tabelle 2-8 stellt dar, in welchen Landschaftstypen und naturräumlichen Einheiten die Erdkabelabschnitte im Einzelnen verortet sind.

Tabelle 2-8: HDÜ-Erdkabelabschnitte - Vorherrschende Landschaftstypen und Lage in den naturräumlichen Einheiten

Nr.	Bezeichnung	Naturräumliche Einheit (Bezeichnung nach BfN 2011)
DE 1	Abschnitt Wehrendorf – St. Hülfe (NI)	Norddeutsches Tiefland D 30 Dümmer Geestniederung und Ems-Hunte-Geest
DE 2	Dörpen-Niederrhein, Abschnitt Bredenwinkel - Borken Süd; bei Raesfeld	Norddeutsches Tiefland D 34 Westfälische Tieflandsbucht
DE 3	Wahle-Mecklar Abschnitt A	Norddeutsches Tiefland D 32 Niedersächsische Börden im Übergang zu D 36 Oberes Weser-Leinebergland
	Abschnitt C	Mittelgebirgsschwelle D 36 Unteres Weserbergland und Oberes Weser-Leinebergland

### Biotoptypen und Eingriffserheblichkeit (nur deutsche Projekte)

Die in Deutschland geplanten HDÜ-Erdkabelabschnitte wurden vorzugsweise im Offenland auf Acker- bzw. Grünlandflächen geplant. Diese Biotoptypen weisen bei intensiver Nutzung überwiegend einen geringen naturschutzfachlichen Wert auf. Die anlagebedingten Beeinträchtigungen gelten hier nach Rekultivierung i. d. R. nicht als erheblich und sind daher nicht kompensationspflichtig. Lediglich die im Zuge der Rekultivierung nicht wiederherstellbaren Biotoptypen (z. B. mesophiles Grünland; Gehölzstrukturen) gelten als kompensationspflichtig.

Die Übersicht in Tabelle 2-9 zeigt, dass in den genannten drei Fällen nur auf einem geringen Teil der Eingriffsfläche mit erheblichen Beeinträchtigungen i. S. v. § 13 ff. BNatSchG zu rechnen ist. Ein etwaiger Flächenbedarf für Maßnahmen zur Vermeidung von Verbotstatbeständen ist hier nicht berücksichtigt. Der naturschutzrechtliche Kompensationsbedarf ist im Offenland also vergleichsweise gering.

Tabelle 2-9: Umfang erheblich beeinträchtigter Biotope in HDÜ-Erdkabelabschnitten<sup>42</sup>

Nr.	Bezeichnung	Flächen	Biotope im Bereich der Kabeltrasse (ohne Arbeitsstreifen)	Summe erhebl. beeintr. Flächen
DE 1	St. Hülfe – Wehrendorf (NI)	insges. 6,9 km Länge 21 m Trassenbreite 14,5 ha Eingriffsfläche	Beeinträchtigt /beansprucht: Acker/ Grünlandbiotope: k.A	keine
			Erheblich beeinträchtigt: Mesophiles Grünland: 0,9 ha Hecken: 0,02 ha Einzelbäume: 2 Stck. Wald-/Forst-/Feldgehölze: 0,27 ha	ca. 1,2 ha
DE 2	Dörpen-Niederrhein Abschnitt Bredenwinkel - Borken Süd (KÜS Löchte – KÜS Diestegge bei Raesfeld)	3,4 km 22,6 m Trassenbreite 7,7 ha Eingriffsfläche	Beeinträchtigt /beansprucht: Acker/ Grünlandbiotope: 5,43 ha Fettwiese/-weide: 2,2 ha	keine
			Erheblich beeinträchtigt: Streuobstgarten/-weide: 0,01 ha Gehölzreihen/Hecke: 0,06 ha	ca. 0,07 ha
DE 3	Wahle-Mecklar Abschnitt C	5,5 km 23 m 12,6 ha Eingriffsfläche	Beeinträchtigt /beansprucht: Acker: 10,2 ha Grünland: 8,1 ha	keine
			Erheblich beeinträchtigt: Wald/Gehölze/Gebüsche: 0,7 ha Kahlschlag: 0,12 ha Graben: 0,06 ha	ca. 0,9 ha

### 2.3.5 HGÜ-Projekte in Deutschland

Erfahrungen mit HGÜ-Verkabelungen wurden in Deutschland bisher mit der Anbindung der Offshore-Windparks gesammelt. Weitere Anwendungsbereiche sind ausgewählte Interkonnektoren sowie die geplante Vollverkabelung der HGÜ-Gleichstrompassagen.

#### HGÜ-Offshore-Anbindungen

Die Offshore-Windparks der Nordsee werden mit HGÜ-Kabeln angebunden.<sup>43</sup> Diese werden an Land als Erdkabel bis zum nächstliegenden Umspannwerk bzw. zur Konverterstation weitergeführt. HGÜ-Kabelprojekte zur Anbindung von Offshore-Windparks weisen im Vergleich zu den HGÜ-Trassen im Übertragungsnetz teils geringere Spannungen und in der Regel auch geringere Übertragungsleistungen auf. Planung und Realisierung sind unterschiedlich

<sup>42</sup> Quellen / ausgewertete Planunterlagen vgl. Quellenverzeichnis / Anlage

<sup>43</sup> Aufgrund der kürzeren Distanzen erfolgt die Anbindung der Offshore-Windparks in der Ostsee (z. B. Baltic I und II) mit Wechselstromtechnologie. Diese Fälle werden hier nicht weiter betrachtet.

weit fortgeschritten. In Tabelle 2-10 sind die Projekte nach ihrem Realisierungs- bzw. Planungsstand sortiert. Für die bisher realisierten und geplanten Offshore-Anbindungen werden bei Spannungen bis  $\pm 320$  kV i. d. R. VPE-Kabel verlegt. Bei höheren Übertragungsleistungen ( $> 600$  MW) werden mind. zwei Kabel verlegt.

Tabelle 2-10: Übersicht der HGÜ-Offshore-Anbindungen in Deutschland<sup>44</sup>

Land	Bezeichnung	UW/Konverterstation	Anlandepunkt	Länge [km]	Inbetriebnahme	Spannung / Leistung	Betreiber / Technik
Fertiggestellte Projekte (bis 2015)							
NI	BorWin1	Diele	Hilgenriedersiel	75	2010	$\pm 150$ kV, 400 MW	TenneT Offshore GmbH / ABB
SH	HelWin1	Büttel	Büsum	45	2015	$\pm 250$ kV, 576 MW	TenneT Offshore GmbH / Siemens
SH	HelWin 2	Büttel	Büsum	45	2015	$\pm 320$ kV, 690 MW	TenneT Offshore GmbH / Siemens
SH	SylWin1	Büttel	Büsum	45	2015	$\pm 320$ kV, 864 MW	TenneT Offshore GmbH / Siemens
NI	DolWin1	Dörpen-West	Hilgenriedersiel	90	2015	$\pm 320$ kV; 800 MW	TenneT Offshore GmbH
NI	DolWin2	Dörpen-West	Hilgenriedersiel	90	vorauss. 2016	$\pm 320$ kV, 916 MW	TenneT Offshore
In Bau befindliche Projekte (ab 2014: laufend)							
NI	BorWin2	Diele	Hilgenriedersiel	75	Anfang 2015	$\pm 300$ kV; 800 MW	TenneT Offshore GmbH / Siemens
NI	DolWin3	Dörpen-West	Hamswehrum	79	vorauss. 2017	$\pm 320$ kV, 900 MW	TenneT Offshore GmbH
NI	BorWin3	Emden-Ost	Hamswehrum	28	vorauss. 2019	$\pm 320$ kV, 900 MW	DC Netz BorWin 3 GmbH

Die landseitigen Anbindungsprojekte haben eine Trassenlänge zwischen 28 und 114 km. Mit der Realisierung der HGÜ-Offshore-Verbindungen wurden also technische und bauliche Umsetzungserfahrungen mit Langstrecken-Vollverkabelungen bis zu  $\pm 320$  kV gesammelt.

#### Lage im Raum

Die Trassen liegen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein. In Niedersachsen wurden im Landesraumordnungsprogramm Korridore für die Anlandung der Offshore-Anbindungen ausgewiesen. Dadurch sind die Anlandepunkte, von denen aus die Kabel weitergeführt werden, festgelegt. Auch in der weiteren Planung wurde das Ziel verfolgt, die Offshore-Anbindungen zumindest abschnittsweise gebündelt zu verlegen (z. B. in der so genannten

<sup>44</sup> Quellen / ausgewertete Planunterlagen vgl. Quellenverzeichnis / Anlage

„EC-Trasse bzw. OSKA-Trasse; vgl. Abbildung). Jede Anbindung wird in einem eigenen Planfeststellungsverfahren zugelassen. Die Realisierung der Projekte erfolgt zeitlich versetzt nacheinander, so dass sich die Bauarbeiten u. U. auch auf längere Zeiträume erstrecken können.

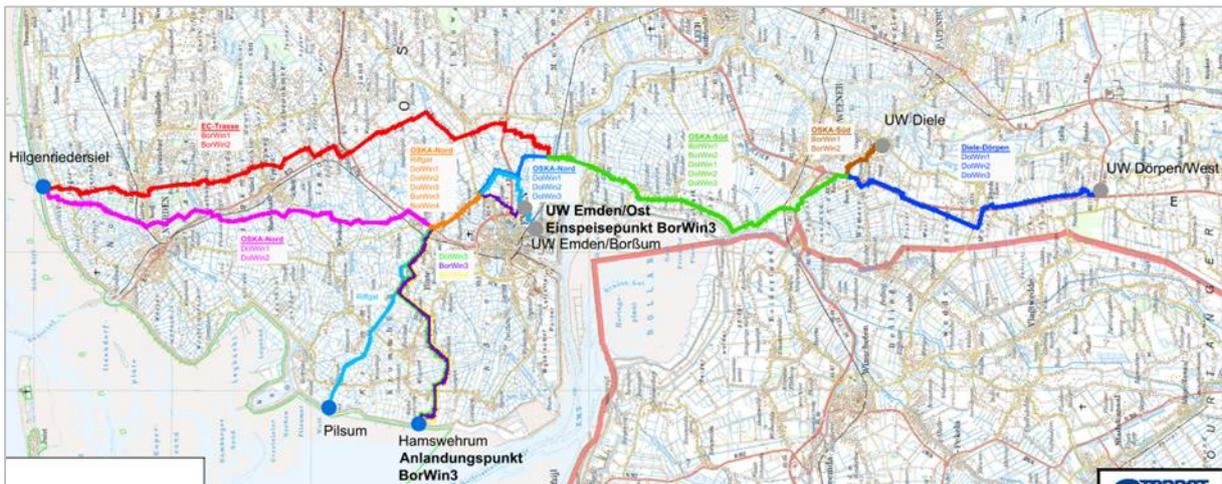


Abbildung 2-2: Offshore HGÜ-Anbindungen mit Trassenverlauf (TENNET 2012)

Von den Anlandungspunkten Pilsum<sup>45</sup>, Hilgenriedersiel und Hamswehrum gehen vier Trassen zum UW Emden bzw. der dort errichteten Konverterstation (ebda.). In der „EC-Trasse“ von Hilgenriedersiel nach Emden sind die Leitungen BorWin1 und BorWin2 gebündelt. Ebenfalls in Hilgenriedersiel beginnt die OSKA<sup>46</sup>-Nord Trasse, in der die Leitungen DolWin1 und DolWin2 parallel verlaufen. Die vierte Trasse, in der die Leitungen DolWin3, BorWin3 und BorWin4 zusammengefasst sind, beginnt am Anlandungspunkt Hamswehrum. Die Offshore-Anbindungen BorWin1, BorWin2, DolWin1, DolWin2 und DolWin3 führen bis zum Umspannwerk Diele (BorWin) bzw. Dörpen/West (DolWin). Sie verlaufen gebündelt in der so genannten OSKA-Süd Trasse.

In Schleswig-Holstein sind die drei HGÜ-Offshore-Anbindungen HelWin1, HelWin2 und SylWin1 in einer Trasse vom Anlandepunkt Büsum bis zur Konverterstation in Büttel zusammengefasst.

### Besonderheiten der Offshore-Anbindungen

Die 75 km lange Offshore-Anbindung BorWin1 wurde zuerst realisiert und ist bereits seit 2010 in Betrieb (vgl. Tabelle 2-10). Zu diesem Projekt wurde im Zuge der Planfeststellung über die „üblichen“ Planungs- und Genehmigungsunterlagen hinaus ein gesondertes Bodenschutzkonzept erstellt. Außerdem wurde eine Baubegleitung (Ökologische Baubegleitung zur Durchführung und Kontrolle der Maßnahmen zu Vermeidung von Verbotstatbeständen sowie und Bodenbaubegleitung) vorgesehen. Im Zuge einer Baudokumentation wurden Bauberichte erstellt. Darin wurden die im Zuge der Realisierung aufgetretenen Probleme (Einhaltung

<sup>45</sup> Von hier startet die so genannte Riffgatt-Trasse und führt zum UW Emden.

<sup>46</sup> OSKA = **O**ffshore-**K**abeltrasse

von Auflagen; Wirksamkeit von Vergrämungsmaßnahmen) thematisiert. Damit kann beurteilt werden, welche Festlegungen für eine erfolgreiche Vermeidung und Verminderung im Zuge der Baubegleitung notwendig waren und sich in der Umsetzung als wirksam erwiesen. Im Bodenschutzkonzept und der Bodenbaubegleitung lag der Schwerpunkt auf der Vermeidung irreversibler Verdichtung, insbesondere im Bereich der hoch empfindlichen Moormarschen, sowie der Vermeidung von Jarositbildung bei der Querung sulfatsaurer Böden. Das Projekt DoIWin 2 (vgl. Steckbrief „DE/NI DoIWin2“ im Anhang) zwischen Hilgenriedersiel und dem UW Dörpen West wies hinsichtlich der Bodenschutzproblematik ähnliche Problemstellungen auf. Im Zuge dieser Anbindung stellte die Unterquerung der Ems einschließlich angrenzender FFH-Gebietsflächen per Unterbohrung eine weitere Herausforderung dar.

Die Leitungen HeIWin1, HeIWin2 und SylWin1 (vgl. Steckbrief DE/SH - HeIWin1 / HeIWin2 / SylWin1 im Anhang) verlaufen parallel zwischen Büsum und Büttel. Für die seinerzeit erforderlichen Einzelgenehmigungen (u. a. naturschutzrechtliche Genehmigung) war das MELUR Schleswig-Holstein zuständig. Die Erfahrungen aus diesen Projekten sind in Handlungsempfehlungen zum Bodenschutz auf Linienbaustellen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein (LBEG 2014; LLUR 2014) eingeflossen, in denen z. B. Kriterien (Bodenfeuchte; Fahrzeuggewicht und Bereifung) für Befahrensbeschränkungen verdichtungsempfindlicher Böden festgelegt wurden.

#### *Lage in den Naturräumen*

Sämtliche HGÜ-Offshore-Anbindungen liegen im norddeutschen Tiefland, im Bereich der Seemarschen und Marschen, sowie im Übergang zur Geest (vgl. Tabelle 2-11). Mit den bisher realisierten Projekten liegen Erfahrungen über Eingriffswirkungen auf Standorten der schleswig-holsteinischen Marschen sowie den niedersächsischen Seemarschen, einschließlich Vermoorungsgebieten, vor.

#### *Technische Merkmale*

Die Verlegetiefe der Kabel beträgt nach den Projektunterlagen 1,3 bis 1,6 m. Die Sohltiefe kann – in Abhängigkeit davon, ob Sand als Bettung eingesetzt wurde – auch noch ca. 20 cm tiefer liegen.

Tabelle 2-11 stellt die in den ausgewerteten Projektunterlagen angegebenen Werte für die einzuhaltenden Kabelabstände sowie für die Schutzstreifenbreite zusammen. Der Schutzstreifen (gesamt) ist identisch mit den grundbuchrechtlich zu sichernden Flächen.

Bei Offshore-Anbindungen beträgt der Schutzbereich nach den Unterlagen demnach zwischen 5 m und 7 m pro Anbindung (bei zwei Kabeln). Werden mehrere Anbindungen parallel verlegt, addieren sich die Schutzstreifenbreiten, wobei sich diese auch überlappen können.

Tabelle 2-11: Kabelabstände und Schutzstreifenbreite bei HGÜ-Anbindungen

Leitung	Leistung	Kabelanzahl	Abstand Kabel	Abstand zu weiteren Trassen / Systemen	Schutzstreifenbreite pro System
BorWin1	400 MW	2	0,2 m	7 m	7 m
BorWin3	900 MW	2	0,4 m	5 m	5 m
DolWin2	916 MW	2	0,4 m	5 m	5 m
HelWin1+2, SylWin1	576-864 MW	2	0,2 – 0,3 m	4 m	Je 5 m

## HGÜ-Interkonnektoren

In der Vergangenheit wurden zahlreiche HGÜ-Interkonnektoren gebaut, ein Großteil davon sind Seekabelverbindungen. Eine der zuletzt realisierten HDÜ-Landkabelverbindungen mit moderner Technologie (erstmaliger Einsatz der VSC-Technologie) ist die sog. „Pyrenäenleitung“. Das Beispiel (vgl. Tabelle 2-12) wird aufgrund der gewählten Bauweise -Verlegung des Kabels in einem Betonbett und Verlegung in einem Tunnel (3,5 m Durchmesser) jedoch keiner weiteren Auswertung unterzogen, da vergleichbare Projekte in Deutschland bisher nicht in dieser Bauweise vorgesehen sind.

Tabelle 2-12: HGÜ-Interkonnektoren

Kürzel	Trasse/ Bezeichnung	Systeme / Typ	Länge in km	Inbetriebnahme	Bauweise und technische Daten	Betreiber / Projektinfos
DE-BE	ALEGrO <sup>47</sup> (PCI-Projekt)	2 VPE-Kabel	100 (davon 45 in D)	vsl. 2018	Vollverkabelung der Gesamtstrecke Offene Grabenbauweise; Micro-Tunnel in zwei Abschnitten Zwei VPE-Kabel; ±320-kV; 1 GW	Amprion / Elia
DE-NO	NordLink (Landabschnitt Wilster-Büsum)	2 MI-Kabel; bipol. Betrieb	ca. 93	vsl. 2020 (Baubeginn 2016)	Landkabelabschnitt: offene Grabenbauweise Zwei MI-Kabel; ±450 bis ±525 kV; 1,4 GW	DC-Land (Konsortium aus Tennet; Statnet, KfW-Bank)
Europa						
ES-FR	„Pyrenäenleitung“ (Santa Llogaia – Baixas)	2 VPE-Kabel	64,5	kommerzieller Betrieb ab 10/ 2015:	Vollverkabelung, davon 8,5 km in Tunnel (Schildvortrieb) Zwei VPE-Kabel ±320 kV; 1,4 GW	inelfe <sup>48</sup>

<sup>47</sup> Abkürzung für „Aachen-Liège Electricity Grid Overlay“

<sup>48</sup> Projektkonsortium aus REE (Red Eléctrica de España) and RTE (Réseau Transport d'Électricité). Vgl. REE online, <http://www.ree.es/en/activities/unique-projects/new-interconnection-with-france>.

### *HGÜ-Interkonnektor ALEGrO (D-BE) (Amprion)*

Das Projekt ALEGrO (Aachen Lüttich Electric Grid Overlay) ist als grenzüberschreitende Verbindung zwischen Belgien und Deutschland geplant. ALEGrO ist Teil des Bundesbedarfsplans und der Unionsliste der PCI-Projekte.<sup>49</sup> Anders als bei anderen grenzüberschreitenden Projekten verbleibt die Zuständigkeit für die Planfeststellung jedoch beim Land Nordrhein-Westfalen (vgl. FEST U. OPERHALSKY 2014, 1195). Zur Übertragung von 1 GW werden zwei 320-kV-HGÜ-Erdkabel verlegt. Im Zuge der Trasse werden zwei Abschnitte, einer davon ein LSG, unterbohrt. Die Waldlandschaften der nördlichen Rureifel werden nicht tangiert. Weitere Projektdetails finden sich unter „DE-BE - ALEGrO“ (vgl. Steckbrief im Anhang).

### *HGÜ-Interkonnektor NordLink*

NordLink soll eine Verbindung zu den Kapazitäten der Pumpspeicherwerke in Norwegen herstellen. Die Gesamttrassenlänge beträgt ca. 623 km, davon sind 93 km Landkabelstrecke in Deutschland. Der Planfeststellungsbeschluss erging im Juni 2014 vom Amt für Planfeststellung Energie Schleswig-Holstein. Der Baubeginn ist für Mitte 2016 vorgesehen.

### **HGÜ-Erdkabel im Zuge der Nord-Süd-Gleichstromverbindungen**

Die HGÜ-Technologie soll zukünftig zur Langstreckenübertragung eingesetzt werden. Mit Inkrafttreten des Bundesbedarfsplangesetzes, neue Fassung, wurde für die in Tabelle 2-13 genannten HGÜ-Projekte ein Erdverkabelungsvorrang festgelegt, von dem nur unter bestimmten Voraussetzungen abgewichen werden kann.

Die Verbindungen sind als bipolare  $\pm 525$ -kV-Leitung mit einer Übertragung von je 2 GW pro Projekt geplant. Es soll die VSC-Technik angewandt werden. Voraussichtlich sollen MI-Kabel<sup>50</sup> verlegt werden. Die Regel-Verlegetiefe soll 1,5 - 1,8 m betragen. Es wird von offener Grabenbauweise als Regelfall ausgegangen.

Die BNetzA hat mittlerweile einen Methodenrahmen für die Bundesfachplanung für HGÜ-Vorhaben mit Erdkabelvorrang als Positionspapier veröffentlicht (BNETZA 2016), nach dem sich Vorgehen und Erarbeitung der Antragsunterlagen richten soll.

Tabelle 2-13: HGÜ-Gleichstrompassagen in Deutschland (in Planung)

Trasse/ Bezeichnung	Leistung	Trassenlänge	Betreiber / Projektinfos
Wilster-Grafenheinfeld und Brunsbüttel-Großgartach (SuedLink)	2 x 2 GW	rd. 800 km	TenneT TennET/Transnet BW
SüdOstLink (Wolmirstedt – Isar)	2 GW	rd. 600 km	50 Hertz und TenneT
Emden/Ost - Osterath	2 GW	-	TenneT

<sup>49</sup> Projects of Common Interest; Die Liste der PCI-Projekte wird durch die Europäische Kommission erlassen und besitzt eine hohe Bindungswirkung.

<sup>50</sup> Nach Brüggmann (09.02.2016, schriftl.) sind gegenwärtig MI-Kabel zur Planung und Genehmigung vorgesehen.

## *SuedLink*

Die Gleichstrompassage „SuedLink“ beinhaltet das Vorhaben Nr. 3 zwischen den Netzverknüpfungspunkten Wilster und Grafenrheinfeld sowie Nr. 4 mit den Netzverknüpfungspunkten Brunsbüttel und Großgartach. Für die Verbindung Wilster und Grafenrheinfeld ist TenneT verantwortlich, für die Verbindung Brunsbüttel–Großgartach TenneT und TransnetBW gemeinsam. Die Vorhaben sollen im mittleren Teil möglichst in gemeinsamer Trasse geführt werden. Zu den Netzverknüpfungspunkten hin führen dann „Abzweige“ mit je 2 GW Übertragungsleistung.

Nach den von TENNET (2014) eingereichten (mittlerweile veralteten) Unterlagen zur Bundesfachplanung, waren für mögliche Erdverkabelungsabschnitte jeweils vier Gräben mit je zwei bzw. drei MI-Kabeln vorgesehen. Die Trassenbreite würde bei einer solchen Verlegeweise in vier Kabelgräben zwischen 18 m und 22 m betragen. Für den Schutzstreifen kommen jeweils seitliche Schutzabstände von je 2,5 m hinzu. Bisher liegen keine modifizierten Angaben zur technischen Ausführung der Vollverkabelung vor.

### *Gleichstrompassage Süd-Ost („Südostpassage“, syn. „SuedOstLink“)*

Die Südostpassage verbindet das UW Wolmirstedt bei Magdeburg (Sachsen-Anhalt) und Isar (bei Landshut, Bayern). Seit Januar 2016 sind 50Hertz und TenneT als verantwortliche Netzbetreiber benannt.<sup>51</sup> Der Antrag auf Bundesfachplanung wird vorbereitet. Zur technischen Ausführung der HGÜ-Erdkabeltrassen können nach Happe (20.11.2015, telefonisch) nur vorläufige Angaben gemacht werden.

### *HGÜ-Verbindungen Emden/Ost – Osterath (Amprion)*

Die HGÜ-Neubaustrecke Emden/Ost – Osterath gehört ebenfalls zu den HGÜ-Verbindungen, die nach Bundesbedarfsplangesetz, neue Fassung, vorrangig zu verkabeln sind (Kennzeichnung „E“). Sie soll die Übertragungskapazität aus dem Nordwesten Niedersachsens in das Rheinland erhöhen. Sie wird ca. 320 km lang sein und eine Übertragungsleistung von 2 GW haben. Die Planung und Genehmigung ist in Vorbereitung, sodass noch keine Unterlagen oder Erfahrungen ausgewertet werden können.

## **Zusammenfassung**

Die bis 2015 in Deutschland geplanten und realisierten 380-kV-HDÜ-Erdkabelabschnitte wurden in Tabelle 2-1 zusammengestellt. Davon wurde bisher erst ein Projekt (DE2, Abschnitt2 „Raesfeld“) fertiggestellt. Es soll 2017 in Betrieb gehen. Die übrigen zehn Projekte befinden sich in verschiedenen Stadien der Planfeststellung. Auslegung und Ausführung je nach Übertragungsaufgabe. Die Verlegeform und Bauweise ist von unternehmensinternen Wirtschaftlichkeitserwägungen (Baukonzept, Betriebsführung, Fehlerfallbehebung, Wartung) abhängig. VPE-Kabel sind für die 380/400-kV-Drehstromübertragung Stand der Technik.

---

<sup>51</sup> TenneT übernimmt die Vorhabenträgerschaft für den bayerischen Abschnitt der „Süd-Ost-Passage“, während 50Hertz den nördlichen Teil der „Süd-Ost-Passage“ von der bayerischen Landesgrenze nach Wolmirstedt bei Magdeburg verantwortet (50Hertz, online, 27.01.2016).

Nach der letzten Rechtsänderung (vgl. EÄG vom 04. Dezember 2012) hat sich die Anzahl der HDÜ-Pilotvorhaben noch einmal erhöht (vgl. Tabelle 2-4). Lage und Anzahl der Erdkabelabschnitte in diesen Trassen haben sich jedoch noch nicht konkretisiert.

Die bisherigen Planungen für 380-kV-HDÜ-Erdkabel in Deutschland liegen im norddeutschen Tiefland und dort vorzugsweise auf landwirtschaftlichen Flächen, also im Offenland. In den Abschnitten A und C der Trasse Wahle - Mecklar sind erstmals auch Erdkabelabschnitte im schwach bis mittel reliefierten Terrain geplant.

Im europäischen Ausland (NL, DK, UK) liegen bereits Erfahrungen mit der Realisierung und dem Betrieb von 380-kV-HDÜ-Erdkabeln im Übertragungsnetz vor. Die Übertragungsleistungen der HDÜ-Erdkabelabschnitte liegen zwischen 2,5 und 3,6 MW. In den NL und DK wurden die technischen Herausforderungen zur Versorgungs- und Betriebssicherheit weniger problematisch gesehen als dies bei den Planungen in Deutschland den Anschein hat. Eine HGÜ-Erdkabelverlegung in steinigem/felsigem Untergrund mit Gefälle ist bisher nur in der Schweiz geplant (CH 1).

Von den zahlreichen geplanten HGÜ-Offshore-Anbindungen (vgl. Tabelle 2-10) waren Ende 2015 fünf Anbindungen in Betrieb. Die Anbindungen weisen Übertragungsleistungen zwischen 400 bis unter 1000 MW auf. Mit 1 bis 2 Kabeln (zzgl. Metallischer Rückleiter) weisen die einzelnen Anbindungen geringere Dimensionen zwischen 5 und 7 m Schutzstreifenbreite auf. Bei Parallelverlegung in gleicher Trasse können jedoch auch größere Schutzstreifenbreiten zustande kommen. Eine Mittelstellung hinsichtlich der Vorhabensdimensionen nehmen die HGÜ-Interkonnektoren (z. B. ALEGrO und NordLink, vgl. Tabelle 2-12) ein. Sie weisen Übertragungsleistungen über 1 GW auf. Die Trassen/Schutzstreifenbreiten liegen zwischen 10 und 12 m. Für Spannungen bis  $\pm 320$  kV werden seit kurzem (2014) hier ebenfalls VPE-Kabel eingesetzt.

Für Übertragungsaufgaben mit Spannungen ( $\pm 525$ -kV) sind MI-Kabel derzeit noch die Kabeltechnologie der Wahl. VPE-Kabel für diese Spannungsebene sind zwar marktverfügbar, gelten jedoch noch nicht als erprobt. Für Punkt-zu-Punkt-Übertragungen von hohen Leistungen mittels Kabeltechnologie finden sich zahlreiche Beispiele (Interkonnektoren und Seekabelverbindungen). Noch wenig erprobt sind hingegen die Technologien, mit denen die Einbindung in das Netz gewährleistet werden soll (hier v. a. Leistungsschalter zum sicheren Ein- und Auskoppeln der Lasten).

Die in Tabelle 2-13 aufgeführten „großen“ Gleichstrompassagen sind nach Bundesbedarfsplangesetz, neue Fassung, voll zu verkabeln. Mit 2 GW weisen sie etwas größere Trassendimensionen als die Interkonnektoren auf. Bei 4 GW Übertragungsleistung kommen sie den Trassendimensionen von HDÜ-Erdkabelabschnitten nahe. In beiden Fällen – HGÜ wie HDÜ – hängt die Dimensionierung der Anlage im Detail von der technischen Auslegung (Dimensionierung der Kabel, der Mindestabstände der Kabel und Systeme) und der Verlegeform (Anzahl der Systeme pro Graben; Wartungs- und Reparaturkonzept) ab.

### **3 Auswirkungen von Höchstspannungs-Erdkabelverbindungen auf Natur und Landschaft**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde der Wissensstand über die Auswirkungen von HDÜ- und HGÜ-Erdkabeltrassen, verschiedenen Bauweisen (offene /geschlossene Grabenbauweise, Verlegepflug) sowie von Kabelübergangsanlagen auf Grundlage der Fachliteratur (EFZN/OECOS 2012; RUNGE ET AL. 2012; TRÜBY, P. U. ALDINGER, E. 2013; BRUNS 2015; BRUNS ET AL. 2015), des Umweltbericht zum Netzentwicklungsplan (BNETZA 2015) sowie der Auswertung von Planungs- und Genehmigungsunterlagen erfasst. Zudem wurden Fachliteratur und Vorhabenunterlagen vergleichbarer Vorhabentypen (Erdgasleitungen: Fernwärmeleitungen) im Hinblick auf die Übertragbarkeit der Wirkungs- und Erheblichkeitsbewertung ausgewertet.

Für den vorliegenden Endbericht erfolgt eine (selektive) Zusammenfassung der in den PAGs vorgestellten und diskutierten Ergebnisse. Die Zusammenfassung konzentriert sich auf die Darstellung der Wirkfaktoren und Auswirkungen der Erdkabelanlagen und stellt Ansatzpunkte für die naturverträgliche Gestaltung (durch Vermeidung und Verminderung) dar.

#### **3.1 Vorhabensspezifika, Vergleichbarkeit und Typisierung**

##### **3.1.1 Analogien zu anderen Leitungsbauvorhaben**

Erdkabelprojekte sind hinsichtlich des Wirkungsspektrums mit Erdgasleitungsprojekten (SCHUCHARDT ET AL. 1999; HÖLSCHEN 2011; LANGE GBR 2014; GEM. RD.ERLAß ROHRLEITUNGEN NW 2002) vergleichbar. In beiden Fällen handelt es sich um unterirdische Leitungsbauvorhaben mit entsprechenden bau- und anlagebedingten Spezifika. Während bei den bau- und anlagebedingten Wirkfaktoren zahlreiche Analogien bestehen, unterscheiden sie sich hinsichtlich der betriebsbedingten Effekte. Aufgrund der Analogien sind Kriterien und Maßstäbe für die Wirkungsbeurteilung von Erdgasleitungen (vgl. Bewertungsrahmen des GEM. RD. ERLASS ROHRLEITUNGEN NW 2002) weitgehend übertragbar und sollten für die Umsetzungsphase von HöS-Erdkabelprojekten weiter aufbereitet und verfügbar gemacht werden. Die Realisierung großer Ferntransportgasleitungen mit Nennweiten >1,0 m liefert nicht nur Anhaltspunkte für mögliche naturschutzrechtliche Konflikte während der Bauzeit, sondern vermittelt auch einen Eindruck über die Wirkung von Schneisen auf das Landschaftsbild sowie über die auf den Trassen bestehenden Entwicklungspotentiale für Offenland- und gehölzbetonte Biotope.

Die Vergleichbarkeit mit Fernwärmeleitungen ist hingegen begrenzt, da sowohl deren Verlegung weniger über weite Strecken im Offenland als vielmehr im Siedlungsbereich oder in Siedlungsnähe erfolgt. Die Leitungen werden soweit möglich oberirdisch verlegt, so dass bestimmte, mit der Grabenbauweise verbundene Effekte nicht auftreten. Im Betrieb treten Wärmeemissionen auf, allerdings kommt es hier für den störungsfreien Betrieb nicht darauf an, diese möglichst gut abzuleiten, sondern Wärmeverluste durch Ummantelung und Dämmung zu vermindern. Bodenerwärmung tritt bei Dämmung der Leitung im Regelfall nicht auf.

### 3.1.2 Vorhabensmerkmale von HöS-Erdkabelvorhaben

HöS-Erdkabelvorhaben lassen sich grob nach Übertragungstechnologie und -aufgabe, der Spannungsebene und der Übertragungsleistung klassifizieren. Die strukturierte Auswertung der Verfahrensunterlagen ergab vier Kategorien oder „Typen“ von Vorhaben. Innerhalb der „Typen“ besteht – abhängig von der konkreten technischen Ausführung der Anlage – eine gewisse Variationsbreite. Diese steigt mit zunehmender Zahl der zu verlegenden Kabel und der Anzahl der Kabelgräben.

Tabelle 3-1: Typisierung von HöS-EK-Vorhaben und Vorhabensmerkmale

Typ	Vorhabentyp nach Anwendungsbereichen	Spannung [kV]	Leistung [MW]	Kabeltyp / Anzahl Kabel	Anzahl Gräben	Schutzstreifen [m] <sup>52</sup>
A	HGÜ-Offshore-Anbindungen <sup>53</sup>	±250 bis ±320	600 - ca. 900	1 oder 2 VPE-Kabel	1	ca. 5
B	HGÜ-Interkonnektor NordLink	±400 bis ±525	1.400	2 MI-Kabel	1	ca. 10
	HGÜ-Interkonnektor (ALEGrO) <sup>54</sup>	±320	1.000	2 VPE-Kabel	1	ca. 10
C	2 GW HGÜ-Gleichstromverbindung <sup>55</sup>	±525	2.000	4 MI-Kabel	1 oder 2	ca. 10-15
	4 GW HGÜ-Gleichstromverbindung <sup>56</sup>	±525	4.000	8 MI-Kabel	4	ca. 22-27
D	380-kV-HDÜ-Erdkabelabschnitt <sup>57</sup>	±380/ 400	3.600	12 VPE-Kabel	2	ca. 22-25

Die Variabilität der Vorhabensmerkmale hat Vor- und Nachteile: einerseits ist das Vorhaben in seiner Ausführung und seinen Dimensionen schwerer zu fassen, andererseits bestehen Spielräume für die Ausführung, die es zur Minderung negativer Effekte auszuloten gilt.

### 3.2 Wirkfaktoren und Auswirkungen von HöS-Erdkabelanlagen

Die in der Fachliteratur und den Vorhabenunterlagen im Zusammenhang mit HöS-EK-Projekten genannten Wirkfaktoren sind in der folgenden Tabelle 3-2 nach anlage-, bau- und-

<sup>52</sup> Annahmen bzw. Werte nach Vorhaben- und Planungsunterlagen.

<sup>53</sup> vgl. TenneT (2012, 51).

<sup>54</sup> vgl. Amprion (2014) sowie „Alegrodialog“ unter <https://alegrodialog.de/informationen/fragen-und-antworten-zu-technischen-aspekten>.

<sup>55</sup> Zum Beispiel „Südostpassage“, gegenwärtiger Planungsstand.

<sup>56</sup> Zum Beispiel Stammstrecke „SuedLink“.

<sup>57</sup> Zum Beispiel HDÜ-Erdkabel bei Raesfeld.

betriebsbedingten „Ursachen bzw. Auslösern“ zusammengestellt. Es wird von einer Ausführung in offener Grabenbauweise ausgegangen.<sup>58</sup>

Tabelle 3-2: Übersicht bau-, anlage- und betriebsbedingter Wirkfaktoren von HöS-Erdkabelvorhaben

Ursachen / Auslöser	Wirkfaktoren	Betroffene Schutzgüter /Funktionen (Schwerpunkte)
<b>Baubedingte temporäre Wirkfaktoren</b>		
Rodung bzw. Baufeldfreimachung	Lebensraum-/Habitatverlust; Tötungsrisiken; Veränderung Standortbedingungen	Pflanzen, Tiere, Lebensräume und Funktionszusammenhänge;
Anlage (befestigter) Baustraßen und Bauflächen	Lebensraum-/Habitatverlust Veränderung Standortbedingungen	Pflanzen, Tiere, Lebensräume und Funktionszusammenhänge
Bodenabtrag, Um- und Zwischenlagerung	Mechanische Belastungen: Veränderung des Bodengefüges und des Bodenaufbaus Veränderung Standortbedingungen	Boden  Mittelbar: Pflanzen und Tiere
Befahren mit schwerem Gerät	Mechanische Belastungen: Veränderung des Bodengefüges und des Bodenaufbaus; Verdichtung Veränderung Standortbedingungen	Boden (Bodenfunktionen) und Wasserhaushalt  Mittelbar: Pflanzen und Tiere
Baustellenverkehr, Maschinenbetrieb	Schadstoff- und Staubemissionen;	Boden, Wasser, Luft ; Erholungswert
Baustellenverkehr, Maschinenbetrieb, Bewegung	Licht- und Geräuschemissionen Tötung/ Störung/ Beunruhigung	Tiere; Lebensstätten
Baustelleneinrichtung und –betrieb, Zuwegungen; Baustraßen	Zerschneidung funktionaler Zusammenhänge	Tiere; Funktionsbeziehungen
Wasserhaltung /	GW-Absenkung / Entwässerung Versauerung	Wasserhaushalt; Boden  Mittelbar: Lebensräume
Bauwassereinleitung	Veränderung Wasserhaushalt ; Stoffeintrag	Lebensraumfunktion (Fließgewässer)
Perforation undurchlässiger Schichten (Bohr- und Grabvorgänge)	Entwässerung /Drainagewirkung/ Veränderung Standortbedingungen	Boden Grundwasserhaushalt Mittelbar: Pflanzen und Tiere

<sup>58</sup> Geschlossene Bauweisen werden in der bisherigen Praxis nur zur Querung von Hindernissen sowie – als Vermeidungsmaßnahme – zur Schonung wertvoller, geschützter Landschaftsteile eingesetzt. Geschlossene Bauweise kann überdies zur Passage von Engstellen erforderlich werden (vgl. Projekt ALEGrO). Der Einsatz von Kabelpflügen im HöS-Bereich ist bisher noch nicht breit erprobt.

Ursachen / Auslöser	Wirkfaktoren	Betroffene Schutzgüter /Funktionen (Schwerpunkte)
<b>Anlagebedingte (dauerhafte) Wirkfaktoren</b>		
Schneise / Schutzstreifen	Lebensraum-/Habitatverlust, Zerschneidung bzw. Barrierewirkung; Veränderung Standortbedingungen	Pflanzen und Tiere, Funktionsbeziehungen; Landschaftsbild Boden/Wasserhaushalt; Klima/Luft
Zuwegungen (befestigt)	Flächeninanspruchnahme Lebensraumverlust, Zerschneidung bzw. Barrierewirkung	Pflanzen und Tiere (Lebensräume; Funktionsbeziehungen); Boden, Grundwasserneubildung
Kabelanlage (Untergrund) Bettung mit ortsfremdem, undurchlässigem Material	Unterirdische Flächeninanspruchnahme / Barrierewirkung	Boden, Wasserhaushalt (Grundwasserneubildung; Grundwasserzug)
<b>Betriebsbedingte Wirkfaktoren</b>		
Erwärmung (abhängig von Dimensionierung und Auslastung)	Wärmeemissionen des Kabels	Boden; Wasserhaushalt
Magnetische Induktion (abhängig von Kabelanordnung und Verlegetiefe)	Emission magnetischer Felder	Tierarten (unsicher)
Wartung, technische Überwachung	Störung / Beunruhigung (temporär)	Tierarten
Durchführung der Maßnahmen zur Freihaltung der Trasse	Störung / Beunruhigung und Lebensraumverlust (temporär)	Tiere, Pflanzen, Funktionsbeziehungen
Schaltvorgänge im Bereich von Konvertern / Kompensationsanlagen	Lärmemissionen	Erholung

Im Folgenden werden einzelne Wirkfaktoren und Effekte herausgegriffen, die sich nach den Vorhabenunterlagen und Expertenberichten für die Umsetzung als relevant erwiesen haben.

### 3.2.1 Baubedingte Effekte

Die Baudurchführung umfasst die Baufeldfreimachung, Einrichtung von Bau- und Lagerflächen, Arbeitsstreifen und Zuwegungen, die Durchführung der maschinellen Aushub-, Lagerungs- und Bodenaufbereitungsarbeiten sowie die Wiederverfüllung des Grabens und Rekultivierung der Trasse. Im Folgenden werden Effekte, bei denen Handlungsbedarf und Gestaltungsmöglichkeiten für eine naturverträgliche Realisierung gesehen werden, näher ausgeführt.

#### Baufeldfreimachung

Die Baufeldfreimachung kann - im Offenland wie in Waldbereichen - mit dem temporären Verlust von Lebensräumen sowie mit Schädigungs- oder Störungswirkungen für besonders

geschützte und seltene Tierarten und deren Habitate verbunden sein.<sup>59</sup> Habitatfunktionen werden hier zeitweilig teilweise oder vollständig eingeschränkt. Durch das Entfernen der Vegetation können überdies Erosionsrisiken verstärkt werden (Bodenabtrag und Einschwemmen in Fließgewässer). Das Entfernen von Gehölzen und die Neuanlage oder Verbreiterung von Schneisen kann darüber hinaus das Landschaftsbild (u. a. Sichtbeziehungen) verändern. Im Bereich der Arbeitsstreifen und Bauflächen sind die Effekte i. d. R. temporär, im Bereich von Schutzstreifen können sie hingegen dauerhaft sein.

Bei der Baufeldfreimachung sind Schutzvorkehrungen zu treffen, damit nach §§ 44 und 45 BNatSchG besonders geschützte Arten bzw. deren Lebensräume weder gestört noch beeinträchtigt werden (z. B. temporäre Zerschneidungswirkungen und „Falleneffekte“ vermeiden). Auf Vermeidung abzielende Bauzeitenregelungen, das Aufstellen von Schutzzäunen, Umsetzen, Absammeln und Vergrämen sowie die Durchführung von sog. CEF-Maßnahmen<sup>60</sup> (vgl. RUNGE ET AL. 2010) können das Schadenrisiko senken. Die fachgerechte Ausführung und Ausgestaltung der CEF-Maßnahmen ist im artenschutzrechtlichen Fachbeitrag auszuarbeiten. Die sachgerechte Umsetzung sollte im Rahmen einer Ökologischen Baubegleitung (vgl. Kapitel 3.3.3) erfolgen und dokumentiert werden.<sup>61</sup>

### **Mechanische Belastung des Bodens**

Das Befahren mit schweren Transport- und Baufahrzeugen führt zu mechanischen Bodenbelastungen und kann irreversible Bodenverdichtungen verursachen. Bei hoher Bodenfeuchte (Grundwasserverhältnisse, Niederschläge) kann bereits ein einmaliges Befahren mit schwerem Gerät zu irreparablen Gefügeschäden (Verdichtungen im Untergrund) führen (vgl. u. a. FELDWISCH 29.05.2015). Nach GEBHARDT ET AL. (2012) sind derartige Verdichtungen auch im Zuge von Offshore-Anbindungen aufgetreten. Die Bodenverdichtung kann sich auch auf den Wasserhaushalt auswirken, da Versickerung und kapillarer Aufstieg behindert sein können. Lokal sind Vernässungen durch Stauwasser denkbar. Irreversible Verdichtungen im Untergrund stellen nach FELDWISCH (29.05.2015) und GEBHARDT ET AL. (2012) die schwerwiegendste baubedingte Beeinträchtigung dar.

Zum Schutz vor Bodenverdichtungen haben sich Befahrensregelungen mit Festlegungen zu Fahrzeuggewicht und -bereifung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und Schwellenwerten für ein Befahrungsverbot bewährt (vgl. LBEG 2014; LLUR 2014).

---

<sup>59</sup> Zum Beispiel bodenlebenden Arten (u. a. Haselmaus, Feldhamster; Laufkäfer): bodenbrütende Vogelarten; sowie Vogelarten mit hoher Störungsempfindlichkeit (z. B. Auerhuhn).

<sup>60</sup> CEF = Continued ecological functionality; CEF-Maßnahmen gehen als vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen über Vermeidungsmaßnahmen hinaus. Sie sollen überdies die kontinuierliche Funktionsfähigkeit einer Fortpflanzungs-, Lebens- oder Ruhestätte gewährleisten, u. a. indem sie aktiv den vom Eingriff betroffenen Arten entsprechende Lebensräume, im räumlichen Zusammenhang schaffen, fördern und entwickeln.

<sup>61</sup> Beispiele hierfür finden sich in Dokumentationen zur Ökologischen Baubegleitung von GFN (2012) sowie INROS Lackner (2014a; 2014b).

## **Bodenumlagerung**

Aushub und Umlagerung greifen in das Bodengefüge und die Bodenstruktur ein (vgl. FELDWISCH 29.05.2015). Auf Standorten mit weitgehend ungestörtem Bodenaufbau<sup>62</sup> kann dies zu Standortveränderungen führen. Eine nach Bodenhorizonten getrennte Lagerung sowie ein schichtengetreuer Wiedereinbau mindern dieses Risiko, sind i. d. R. aber mit einem höheren Flächenbedarf verbunden. Bei Waldquerungen oder an „Engstellen“ kann dies zu Zielkonflikten (z. B. Minimierung des Einschlags; Minimierung von Störungswirkungen für benachbarte Lebensräume) führen. Hier ist eine Abwägung im Einzelfall zu treffen.

## **Grundwasserabsenkung und Entwässerung**

Bei hoch anstehendem Grundwasser wird während der Bauphase eine temporäre Wasserhaltung notwendig. Dadurch kann es zu einem vorübergehenden Absinken des Grundwasserspiegels im Umfeld des Kabelgrabenabschnitts kommen. Dies wiederum kann Auswirkungen auf die angrenzende Vegetation sowie die Wasserstände der benachbarten Oberflächengewässer haben.

Die Einleitung des Pumpwassers in Oberflächengewässer kann durch Stoff- und Sedimenteinträge mit erheblichen Beeinträchtigungen für Lebensräume und Arten einhergehen. Durch das Zwischenschalten von Absetzbecken sowie eine Filterung der Einleitungen können die Einträge vermieden oder vermindert werden.

Ein unbeabsichtigtes Durchstoßen wasserstauer Schichten kann zur Entwässerung führen. Insbesondere Moorboden weisen hier eine hohe Empfindlichkeit auf, da eine Entwässerung die Mineralisierung verstärkt und Sackungen zur Folge haben kann. Ein möglichst schnelles Wiederverschließen kann eine Entwässerung nur vermindern. Insofern hat die Vermeidung hier hohen Stellenwert.

## **Störung, Beunruhigung; Lärm- und Lichtemissionen**

Die eingesetzte Technik muss den Vorgaben der 32. BImSchV (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) entsprechen. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass die Lärmemissionen zur Verdrängung empfindlicher Arten (z. B. Vogelarten) führen, insbesondere wenn keine Möglichkeit besteht, die Arbeiten in den Sommermonaten außerhalb von störungsempfindlichen Phasen (z. B. Balz- und Brutzeiträume) auszuführen. Für besonders störempfindliche Arten sind große Effektdistanzen (Fluchtdistanzen) zu berücksichtigen.

## **Zusammenfassung / Empfehlungen**

Wie bei anderen unterirdischen Leitungsbauvorhaben (z. B. Erdgasleitungsbau) auch, ist bei den Erdkabelprojekten der Großteil der naturschutzrechtlich relevanten Effekte baubedingt. Inwieweit bei der Bauausführung erhebliche (dauerhafte) Schäden vermieden werden, hängt in starkem Maße von deren sachgerechter Ausführung unter Beachtung entsprechender Verordnungen ab. Durch geeignete Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen können die bauzeitlichen Auswirkungen zumeist unter die Schwelle der Erheblichkeit gesenkt wer-

---

<sup>62</sup> Dies sind z. B. Böden unter Dauervegetation (z. B. Grünland, Brachen), die nicht regelmäßig umgebrochen werden, sowie Waldböden, die noch einen weitgehend natürlichen Aufbau aufweisen.

den bzw. bleiben zeitlich begrenzt. Unvorhergesehene Witterungseinflüsse sowie Havarien können jedoch das Risiko dauerhafter Schäden erhöhen. Insofern hängt der naturverträgliche Ausbau auch in starkem Maße von der Reaktionsfähigkeit auf unvorhergesehene Ereignisse ab. Eine Umweltbaubegleitung sollte daher fester Bestandteil zukünftiger Netzausbauvorhaben sein (vgl. FELDWISCH 2015).

### **3.2.2 Anlagebedingte Effekte**

Auftreten und Erheblichkeit anlagebedingter Effekte auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume sind in Waldabschnitten und im Offenland unterschiedlich zu beurteilen. Auf intensiv genutzten Landwirtschaftsflächen kann davon ausgegangen werden, dass nach der Rekultivierung im Regelfall keine dauerhaften Beeinträchtigungen von Lebensräumen verbleiben. Ein Risiko für dauerhafte Lebensraumverluste besteht hingegen bei Inanspruchnahme von Biotoptypen mit hohem Gefährdungsstatus und eingeschränkter Regenerierbarkeit (vgl. EFZN/OECOS 2012). Hier sollte geprüft werden, ob die Beeinträchtigungen durch eine geschlossene Bauweise vermieden werden können. Anlagebedingte Effekte durch den Neubau befestigter Zuwegungen / Unterhaltungswege sind im Offenland aufgrund des vorhandenen Wegenetzes u. U. ebenfalls geringer als in Wäldern. Der Umfang unterirdischer Versiegelung ist hingegen nicht von der Lage in Offenland oder Wald, sondern stärker von den örtlichen Bodenarten und dem jeweiligen Wasserhaushalt abhängig.

#### **Lebensraum und Habitatverlust im Wald**

Da Waldquerungen auch für Erdkabeltrassen nicht vollständig auszuschließen sind, kann es im Bereich von Waldschneisen durch den Schneisenhieb und die anschließende Freihaltung des Schutzstreifens zu direktem und indirektem Lebensraumverlust kommen.

Im Schneisenraum geht das walddtypische Innenklima durch Freistellung und Freihaltung dauerhaft verloren.<sup>63</sup> In der Schneise kommt es zu einer Zunahme der Einstrahlung und infolgedessen zu Veränderungen des Mikroklimas (Lichteinstrahlung; Temperatur) und von Standortbedingungen (Bodenfeuchte, Nährstoffhaushalt). Diese Veränderungen können in die angrenzenden Waldökosysteme hineinreichen und in den Übergangsbereichen zu Verschiebungen der ursprünglichen Artenzusammensetzung zugunsten licht- und wärmeliebender Pflanzen- und Tierarten führen („Randeffekte“). Durch einwandernde Arten können neue Dominanzverhältnisse entstehen, die zu Lasten historischer und/ oder standortheimischer Waldarten gehen.

Einzelne Tierarten mit spezifischen Habitatansprüchen werden infolge von Habitatveränderungen durch Schneisen aus ihren Reproduktionsräumen (z. B. Horste oder Fledermaus-Wochenstuben) vergrämt. So können Schneisen stöempfindliche Großvogelarten (z. B. See- und Schreiadler) zur Aufgabe eines Brutstandortes veranlassen, da sich der Gebietscharakter ändert (EFZN/OECOS 2012, 21).

---

<sup>63</sup> Dies tritt ein, wenn aufgrund der freigeschlagenen Fläche keine dauerhafte Beschattung gegeben ist. Dies kann bei Schneisen ab ca. 10 m Breite der Fall sein.

## Entwicklungspotenziale

Unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. in monostrukturierten Forsten geringer naturschutzfachlicher Wertigkeit) können Schneisen Potenziale für die Entwicklung von naturschutzfachlich bedeutsamen Sekundärlebensräumen aufweisen. Geeignete Standortbedingungen (trocken, nährstoffarm, geringer Sukzessionsdruck) und Vereinbarkeit mit örtlichen Schutz- und Entwicklungszielen vorausgesetzt, bietet dies die Möglichkeit, in Schneisen Rückzugsräume für gefährdete Offenlandarten zu entwickeln. Insbesondere thermophile Arten sowie Arten nährstoffarmer, trockener Standorte (Magerrasen, Heiden) und Arten der Säume können profitieren.<sup>64</sup> Auch für einige Vogelarten der Waldränder und Hecken (z. B. Goldammer, Baumpieper, Wendehals) können sich die Habitatbedingungen (u. a. Brutstandorte, Nahrungsangebot; vgl. GFN ET AL. 2009; NABU 2014) verbessern, wenn sich ausgeprägte Randstrukturen ausbilden. Für Greifvögel und Fledermäuse können offene Schneisen neue Nahrungs- bzw. Jagdreviere bieten (vgl. NEULING 01.07.2015, mdl.). Die Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller Offenlebensräume setzt jedoch i. d. R. ein aktives Pflegemanagement voraus.

## Barriererisiken von offenen Schneisen

Auch von offenen Waldschneisen können Barriereeffekte für den Populationsaustausch einzelner waldbewohnender Tierarten ausgehen. Da die Barrierewirkungen offener Waldschneisen bisher nicht empirisch belegt sind, wird von Zerschneidungs- bzw. Barriererisiken gesprochen. In welchem Ausmaß diese auftreten und ob sie erheblich und damit genehmigungsrelevant sind, hängt von mehreren Faktoren ab: Zum einen davon, ob Arten mit engen Lebensraumsprüchen (stenotope Waldarten), spezifischen Ausbreitungsmechanismen oder – bei Tierarten – eingeschränkter Mobilität betroffen sind. Zum anderen kommt es für das Barriererisiko auf Biotop- bzw. Habitatstrukturen sowie Habitat- und Standortbedingungen in der Schneise an. Diese Faktoren haben Einfluss auf die Überwindbarkeit.

So sind flugfähige und hoch mobile Tierarten i. d. R. nicht von einer Barrierewirkung durch Schneisen betroffen, ebenso können Klein- und Großsäuger die bei Schneisen üblichen Distanzen problemlos überwinden. Ein Beeinträchtigungsrisiko durch Barriere- und Fragmentierungseffekte besteht in erster Linie für gering mobile, meist kleine Arten mit geringem Aktionsradius, z. B. bodenlebende Wirbellose (RICKETTS 2001, HUDGENS U. HADDAD 2003, in DROBNIK ET AL. 2013).<sup>65</sup> Je geringer die Mobilität und je ausgeprägter die unüberwindbaren Strukturen und Strecken, desto gravierender wirken sich Barriereeffekte aus. Im Hinblick auf die Abhängigkeit geeigneter Standortbedingungen sehen KILLER ET AL. (1994, 61) v. a.

---

<sup>64</sup> Zu den Fallbeispielen zur Entwicklung von Sekundärbiotopen u. a. durch gezielte Trassenpflege vgl. u. a. DVL (2014).

<sup>65</sup> Im Rahmen des vom BfN geförderten Verbände-Vorhabens „Überwindung von Barrieren“ wurde eine Literaturstudie zur Nutzung von Korridoren und Überwindung von Barrieren durch Säugetiere und Reptilien von Herrmann u. Mathews (2007, online verfügbar unter: [https://www.jagdverband.de/sites/default/files/herrmann\\_endberichtdok20\\_0.pdf](https://www.jagdverband.de/sites/default/files/herrmann_endberichtdok20_0.pdf)) erstellt. Zudem wurde eine Datenbank mit Daten zur Mobilität, zum Flächenbedarf einzelner Arten oder zur "Vektor"- und Habitatbildnerfunktion auch für wirbellose Tierarten aufgebaut, die aktuell jedoch nicht mehr verfügbar zu sein scheint (vgl. DJV 2007).

schatten- oder dauerfeuchtigkeitsgebundene Bodenorganismen als gefährdet an. Je höher der Grad der Stenotopie, desto eher sind die Arten von Barriereeffekten Betroffen. Zusammenfassen gehören kleine, stenotope<sup>66</sup>, waldlebende Tierarten geringer Mobilität zu den am ehesten betroffenen Arten.

Mobile, stenotope Waldarten wie Laufkäfer sind für ihre hohen Ansprüche an Habitate und Verbundstrukturen und ihre Eignung als Bioindikatoren bekannt (vgl. ZULKA 1996; DROBNIK ET AL. 2013). Eine Untersuchung verschiedener Laufkäferarten (Diefenbach 1990) ergab jedoch keine konkreten Hinweise auf Barriereeffekte (KILLER ET AL. 1994, 61). Über ihre Empfindlichkeit gegenüber Zerschneidungen, bestimmten Flächengrößen und -formen und die potenzielle Beeinträchtigung eines Populationsaustauschs lassen sich nach aktuellem Recherchestand hier jedoch nur vereinzelte, nachfolgend aufgeführte Aussagen treffen. Empirische Daten (Erhebungen; Untersuchungsergebnisse) darüber, in welchem Maße der Populationsaustausch stenotoper Waldarten von schneisenbedingten Barriereeffekten betroffen sein können, liegen aktuell nicht vor.

Einige stenotope Arten sind nach Anhang II bzw. IV der FFH-RL geschützt. Die Beurteilung von Barriereeffekten und daraus resultierende Schadensrisiken für diese Waldkäferarten ist planungs- bzw. genehmigungsrelevant, so dass im Falle der Betroffenheit ihrer (gleichwohl beschränkten) Vorkommensgebiete ein besonderer Klärungsbedarf besteht. Die Planungs- und Genehmigungsrelevanz stenotoper Waldarten, die keinem strengen oder besonderen Schutz unterliegen, ist im Einzelfall zu prüfen.

Zu den Auslösern von Barriererisiken gehören der abrupte Wechsel der Biotop- bzw. Habitatstrukturen (fehlende Übergänge) sowie der Wechsel der Habitat- und Standortbedingungen (v. a. Licht- und Feuchteverhältnisse (KILLER ET AL. 1994, 31)). Nach GATES (1991, in KILLER ET AL. 1994, 61) erhöht sich das Barriererisiko mit zunehmender Trassenbreite. Ab wann diese kritisch ist, dürfte nur art- bzw. einzelfallabhängig zu beantworten sein. Für eine pauschale Bewertung des Barriererisikos von Erdgasfernleitungen wird davon ausgegangen, dass Schutzstreifenbreiten unter 10 - 12 m geringe Barriereeffekte haben.

Erst im Falle darüber hinausgehender Schneisenbreiten ist davon auszugehen, dass die Flächen im Tagesverlauf keiner Beschattung ausgesetzt sind und sich die klimatischen und standörtlichen Bedingungen ändern. Untersuchungen an einer von Wald umgebenen Magerweide (HÄNGGI U. BAUR 1998 IN EGGENBERG U. STÖCKLIN 2003) stützen die Annahme, dass ein erheblicher Barriereeffekt erst bei gehölzfreien Trassenbreiten größerer Breite (> 10 m) eintritt.

Ein weiterer Indikator ist die Biotopstruktur: Eine geringe Durchlässigkeit des Schneisenraumes und seiner Randbereiche (z. B. bei dichtem grasartigen und/ oder ruderalisiertem Bewuchs) mindert die Durchlässigkeit und somit die Querungs- bzw. Ausbreitungsraten für bodenlebende Waldarten (z. B. Käfer, Schnecken).

Je artenärmer und monostrukturierter der Trassenbewuchs ist (vgl. KILLER ET AL. 1994, 60), desto eher können z. B. Pflanzenarten mit spezifischen Bestäubungs- und Verbreitungs-

---

<sup>66</sup> Stenotope, waldlebende Arten sind z. B. an ein kühl-feuchtes Waldbinnenklima gebunden.

mechanismen (z. B. Haselwurz) von Barriereeffekten betroffen sein. Monostrukturierte Schneisen können nach ABMANN (20.01.2016, telefon.) außerdem die Ausbreitung von Arten „historisch alter Wälder“<sup>67</sup> einschränken und damit die Entwicklungspotenziale „neuer“ Waldstandorte mindern.<sup>68</sup> Vielfältig strukturierte Schneisen dürften hingegen in der Regel keine Ausbreitungshindernisse für Waldpflanzen darstellen.

Eine von Gehölzen überschirmte lückige Bodenvegetation mit Gehölzen würde sich günstig hinsichtlich der Durchlässigkeit auswirken, da sie die Einstrahlung und damit auch die Veränderung von Standortparametern vermindern. Eine punktuelle Gehölzüberschirmung kann jedoch dem Verlust eines kühl-feuchten Waldinnenklimas nicht entgegenwirken.

Für die Beurteilung der Barriererisiken ist ferner der Ausbreitungserfolg ausschlaggebend (RECK, 29.01.2016, telefon.). Der Erfolg hängt von der Größe bzw. Länge (Randlinie) und der Lage der Start- und Zielflächen zueinander ab. Sind die Randlinien der Start- und Zielflächen nur von geringer Länge oder weist die Zielfläche eine geringere Länge als die Startfläche auf und liegen sie sich nicht in Ausbreitungsrichtung gegenüber, so verringert dies die „Trefferquote“ und damit die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Querungen.

Schneisen bedeuten v. a. für schmale bzw. bandartige Waldlebensräume ein erhöhtes Barriererisiko, da die Erfolgchancen für den Austausch angesichts der geringen Länge der Randlinien von Start- und Zielflächen besonders gering sind.

### **Landschaftsbild und Erholungswert**

In geschlossenen Waldbeständen oder anderen landschaftsbildprägenden Vegetationseinheiten mit langer Regenerationszeit können der Schneisenhieb und die anschließende Freihaltung erhebliche Veränderungen des Landschaftsbildes und des Erholungswertes verursachen. Abgesehen von geschlossenen, naturnahen Waldlandschaften ist dies auch in siedlungsnahen Waldgebieten und Wäldern mit Erholungsfunktion relevant. In topographisch bewegtem Gelände ist die Sichtbarkeit offener Schneisen erhöht. Die Zäsur kann den ursprünglichen Landschaftseindruck nachteilig verändern und – aus der Betrachterperspektive – Sichtachsen und Sichtbeziehungen z. B. durch Freistellung nachteilig verändern. Eine Trassengestaltung mit sichtverstellenden Gehölzen kann zur Minderung der Effekte beitragen.

---

<sup>67</sup> Als „historische alte Wälder“ gelten solche, die bereits seit mehreren hundert Jahren kontinuierlich als Wald existieren. Das Alter der Bäume (> 200 Jahre) kann hierfür ein Indikator sein. Pflanzenarten, die eine enge Bindung an historisch alte Waldstandorte aufweisen, gelten als Zeigerarten (vgl. z. B. LNU u. MUNLV NW 2004), u. a. für die Reife des Ökosystems. Als Indikatorarten gelten etwa Waldmeister, Bingelkraut oder die Einbeere.

<sup>68</sup> Die Einschränkung derartiger Entwicklungspotenziale kann für die Beurteilung von Schneisen, die im Grenzbereich von historisch alten und neuen Wäldern verlaufen, von Relevanz sein, stellt aber kein im Rahmen der Eingriffsregelung relevantes Tatbestandsmerkmal dar.

## Unterirdische Versiegelung

Weitere dauerhafte anlagebedingte Effekte entstehen durch unterirdische Versiegelung<sup>69</sup> im Bereich der Kabelstrecke sowie bei unterirdischen Bauwerken. Bei Verwendung undurchlässiger Materialien für Bettung oder Abdeckung sind Effekte auf die Grundwasserneubildung und den Grundwasserzug nicht auszuschließen. Zum Beispiel kann sich das Retentionsvermögen des Bodens für Niederschläge und die Grundwasserneubildung verringern; die verminderte Versickerungsfähigkeit kann zu lokaler Staunässe führen. Wird der laterale Grundwasserzug behindert, können u. U. klein- bis großräumige Veränderungen des Wasserhaushalts und der standörtlichen Bedingungen eintreten.

Unterirdische Muffenverbindungen werden nach heutigem Stand der Kabeltechnik ca. alle 900 m bis 1.200 m benötigt.<sup>70</sup> Angaben zum Flächenbedarf variieren.<sup>71</sup> Ob von den Muffen unterirdische Versiegelungswirkungen ausgehen, hängt von der Ausführung ab. Bei HDÜ-Erdkabelverbindungen werden etwa an jeder dritten Muffe Cross-Bonding-Kästen zum Auskreuzen der Schirmströme erforderlich. Sie fallen hier nicht wesentlich ins Gewicht.

### 3.2.3 Betriebsbedingte Effekte

Von den betriebsbedingten Effekten sind die Wärmeentwicklung des Leiters (siehe Exkurs im Anhang) und die Entstehung elektrischer und/ oder magnetischer Felder um das Kabel relevant.

#### Elektrische und/ oder magnetische Felder

Die bei HDÜ- und HGÜ-Kabeln auftretenden elektrischen Felder sind vergleichsweise schwach, da sie durch die metallische Kabelumhüllung weitgehend abgeschirmt werden. Es treten also im Wesentlichen magnetische Wechselfelder (HDÜ) bzw. Gleichfelder (HGÜ) auf, die auf den unmittelbaren Trassenbereich beschränkt sind und deren Wirkung oberhalb der Trasse durch die Verlegetiefe beeinflussbar ist. Bei HDÜ-Erdkabeln liegen die Wechselfelder im Allgemeinen deutlich unterhalb des Grenzwertes von 100  $\mu\text{T}$  (BNetzA 2015, 153). Bei HGÜ-Erdkabeln liegen die magnetischen Induktionen bei gleicher Verlegetechnik zwischen ca. 40  $\mu\text{T}$  und 75  $\mu\text{T}$  (bei 3 GW). Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden somit in beiden Fällen unterschritten.<sup>72</sup>

---

<sup>69</sup> Einbringen von ortsfremdem Material (Platten, verdichteten Bettungsmaterialien) oder Bauwerken in den Boden. Bereiche mit hoher Grundwasserneubildung und/oder lateralem Grundwasserzug sind besonders empfindlich.

<sup>70</sup> In aktuellen Planungsunterlagen (2014/2015) werden Abstände zwischen 700-900 m genannt. Die Abstände richten sich nach den auf einer Kabelrolle lieferbaren Kabellängen. Je dicker und schwerer das Kabel. Desto kürzer die Kabellängen. Das im Schwerlasttransport handhabbare Gewicht von max. 40 t pro Kabelrolle stellt den begrenzenden Faktor dar.

<sup>71</sup> Die Länge einer Muffenverbindung wird mit 12-15 m angegeben; die Breite ist abhängig von der Anzahl der Kabel.

<sup>72</sup> Für die fachwissenschaftliche Beurteilung der Auswirkungen magnetischer Felder ist das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zuständig. BfS und BNetzA gehen davon aus, dass bei Unterschreitung der geltenden Grenzwerte keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen auftreten.

Die Auswirkungen magnetischer Felder auf die Schutzgüter des Naturschutzrechts (z. B. Vögel, die Zellbildung von Pflanzen oder die Bodenfauna) sind bisher nicht erforscht.

### **Wärmeemissionen**

Die Höhe der Wärmeemissionen (Wirkintensität) unter Reallast hängt von der Auslastung des Kabels ab. Eine Temperatur von 50° C an der Kontaktstelle zum umgebenden Boden kann als ein oberer „Emissionswert“ betrachtet werden. Wärmeemissionen könnten naturschutzrechtlich relevant werden, wenn durch die Erwärmung und Austrocknung Lebensraumfunktionen für Pflanzen und Tiere beeinträchtigt werden.

Der Wissensstand über die Auswirkungen betriebsbedingter Wärmeemissionen auf die belebte Bodenschicht und den Wasserhaushalt basiert im Wesentlichen auf den Ergebnissen von in Freiburg und Osterath durchgeführten Feldversuchen (UTHER ET AL. 2009; TRÜBY U. UTHHER 22.02.2011; TRÜBY U. ALDINGER 2013; BRÜGGMANN ET AL. 2015).<sup>73</sup> Für den 380-kV-EK-Abschnitt Raesfeld wurde auf Basis der Feldversuche weitere Gutachten (TRÜBY 2012; TERRA PLANTA 2014) erstellt. Mit den Messdaten aus den zwei Feldversuchen liegt bisher eine schmale empirische Basis vor; nach UTHHER (29.05.2016) seien die Erkenntnisse jedoch auf andere Standorte im Bundesgebiet übertragbar. Die in den Feldversuchen unter kontrollierten Bedingungen gewonnenen Messdaten sollen am Standort Raesfeld durch Messungen unter Reallast ergänzt werden. Ein entsprechendes Versuchsfeld wurde angelegt.

Nach den Feldversuchen zeigt die Auswertung der vertikalen Temperaturgradienten, dass die Erwärmung an der Bodenoberfläche im Normalbetrieb (max. Betriebstemperatur des Kabels: 50°C) zwischen +3 bis 5 K beträgt. Eine solche Erhöhung liegt im Schwankungsbereich der tages- und jahreszeitlichen Ganglinien. Ein bisher nicht untersuchtes Risiko sind thermische Aufschaukelungseffekte (z. B. im Sommer unter Trockenheit und hoher einstrahlungsbedingter Erwärmung). Ob und in welcher Höhe sie eintreten, kann derzeit nicht sicher beantwortet werden.

Die Bodenfeuchtemessungen lassen erkennen, dass bei einer Betriebstemperatur des Kabels von 50 °C (= max. Temperatur im Regelfall) nicht mit einer für die Vegetation signifikanten Austrocknung zu rechnen ist. Etwaige wärmebedingte Verdunstungsverluste können i. d. R. unter den in Deutschland herrschenden klimatischen Bedingungen durch Niederschlag ausgeglichen werden. Die Effekte einer (temporären) Erwärmung auf das Bodenleben (hier: Regenwürmer und Maulwürfe) werden derzeit im Rahmen eines Monitorings untersucht. Gegenwärtig bestehen keine Anhaltspunkte, dass hier erhebliche potenziell schädigende Auswirkungen auftreten. Sofern die Wärmeemissionen dazu führen, dass der Boden früher auftaut und sich erwärmt, hat dies i. d. R. positive Effekte auf das Bodenleben. Infolge erhöhter mikrobieller Aktivität im Bereich der Kabeltrasse besteht – insbesondere in Verbindung mit Entwässerungseffekten – das Risiko der Humuszehrung. Dadurch kann es örtlich zu nachteiligen Standortveränderungen wertvoller Lebensräume kommen. Dieses Risiko sollte bei der Querung von Böden mit hohen organischen Anteilen, v. a. Mooren, geprüft werden.

---

<sup>73</sup> Die Ergebnisse wurden von Trüby et al. (29.05.2015) im Rahmen der PAG erläutert.

Die Einflüsse des Kabelbetriebs auf landwirtschaftliche Kulturen sind offenbar ebenfalls nicht wesentlich. Es traten sowohl leichte Ertragsminderungen als auch leichte Ertragssteigerungen auf. Die Kausalität für diese Effekte lässt sich nicht eindeutig klären – für Ertragsminderungen können z. B. auch bodenphysikalische Gründe eine Rolle spielen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist auf Erdkabeltrassen im Normalbetrieb also nicht von erheblichen Beeinträchtigungen durch wärmebedingte Emissionen auszugehen. Eine auf Stunden bzw. wenige Tage beschränkte Kabeltemperatur von  $> 50\text{ °C}$  würde aufgrund der Trägheit des Mediums ebenfalls nicht zu erheblichen Auswirkungen führen.

Zusammenfassend ist also davon auszugehen, dass die wärmebedingten Auswirkungen vernachlässigbar sind. Über die bisherigen Erkenntnisse hinaus besteht jedoch Bedarf, die empirische Basis im Rahmen eines Betriebsmonitorings zu erweitern.

### **Inspektions- und Wartungsarbeiten**

Ob und wie häufig Wartungsarbeiten an welchen Teilen der Anlage durchzuführen sind, muss differenziert betrachtet werden. An der Kabelstrecke selbst fallen, soweit VPE-Kunststoffkabel verwendet werden, keine Inspektions- oder Wartungsarbeiten an. Über Häufigkeit und Intervalle der Inspektion von Muffen gibt es unterschiedliche Angaben, ggf. ist dies auf unterschiedliche Einschätzungen der Störfallanfälligkeit sowie auf unterschiedliche Wartungskonzepte der Übertragungsnetzbetreiber zurückzuführen. Nach BRÜGGMANN (09.02.2016) sind Inspektionen generell nur in großen Zeitabständen erforderlich, da für die Überwachung zumeist elektronische Messsysteme eingesetzt werden. Selbst wenn Inspektionen oder Wartungsarbeiten durchgeführt werden, sind diese i. d. R. zeitlich und punktuell begrenzt, so dass von ihnen nur geringe Störwirkungen für Arten und Lebensgemeinschaften ausgehen. Zur Klärung und Bewertung der Eingriffsintensität besteht im Zusammenhang mit den Vorhabenbeschreibungen Klärungs- und Definitionsbedarf, welche Tätigkeiten im Zuge von Inspektionen und Wartungen vor Ort an der Trasse oder an den Muffenverbindungen durchgeführt werden.

### **Behebung von Fehlerfällen**

Häufigkeit und Orte des Auftretens von Fehlerfällen sind schwer vorhersehbar. Aufgrund der erhöhten Fehleranfälligkeit von Muffen und Endverschlüssen (vgl. ENTSO-E 2013), ist es wahrscheinlich, dass sich Fehlerfälle vorwiegend auf Muffenstandorte konzentrieren und Maßnahmen zur Fehlerbehebung dort punktuell begrenzt notwendig sind. Das Aufgraben der Muffenstandorte ist mit temporären Störwirkungen für die Biotop- bzw. Habitatentwicklung auf der Trasse verbunden. Auch Störwirkungen auf benachbarte Vorkommen besonders geschützter Arten oder deren Lebensräume sind nicht auszuschließen. Die Schwierigkeit der Wirkungsbeurteilung liegt in der Unvorhersehbarkeit sowohl der Häufigkeit als auch der Lokalisierung.

## **Kabelaustausch**

Nach aktuellem Wissensstand wird bei VPE-Erdkabeln von einer Lebensdauer von ca. 40 Jahre ausgegangen. Danach wäre ein Austausch der Kabel und damit ein erneuter Eingriff in die Trasse notwendig.<sup>74</sup> Dieser erfolgt vermutlich in derselben Trasse. Mit der Erneuerung kann die Erhöhung der Übertragungskapazität verbunden sein. Die Auswirkungen auf die Schutzgüter und ihre Funktionen können aufgrund der bestehenden Vorbelastung als vermindert betrachtet werden. Die Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere sind von der zwischenzeitlichen Biotopentwicklung im Bereich der Trassen abhängig. Es bleibt abzuwarten, ob das Wiederaufgraben der Trasse bei Nutzung von Kabelschutzrohren nicht erforderlich ist und bauzeitliche und anlagebedingte Auswirkungen dadurch vermieden werden. Voraussetzung hierfür wäre, dass die Lebensdauer der Schutzrohre die der Kabel erheblich übersteigt.

### **3.3 Ansatzpunkte zur Vermeidung und Minderung**

Ziel der Vermeidung ist es, das Auftreten dauerhafter, irreversibler erheblicher Schäden zu vermeiden und den Umfang temporärer Effekte zu minimieren. Am wirkungsvollsten ist es, wenn die Möglichkeiten der Vermeidung und Verminderung bereits bei der technischen Planung ausgeschöpft werden. Im Folgenden werden entsprechende Ansatzpunkte aus dem Bereich der technischen Planung und Auslegung (vgl. Kapitel 3.3.1), der Bauweise (grabenlose Bauweise, vgl. Kapitel 3.3.2) sowie spezifischer Vorkehrungen zum Schutz- oder zur Vermeidung erläutert (vgl. Kapitel 3.3.3).

#### **3.3.1 Minderungsmöglichkeiten im Rahmen der technischen Planung und Ausführung**

##### **Bauzeitenplanung**

Aus Gründen des Bodenschutzes (Schutz vor irreversiblen Verdichtungen) sollte sich die Bautätigkeit auf das Sommerhalbjahr (Mai-September) beschränken. Für den Bauzeitenplan bedeutet dies, dass die Beräumung bereits davor im Winterhalbjahr (Vegetationsruhe, außerhalb der Brutzeiten) erfolgt sein muss. Bei HGÜ-Langstreckenverbindungen sollten die Baulose so bemessen sein, dass Bau und Rekultivierung vor dem Winterhalbjahr abgeschlossen werden können. Durch einen zügigen Baufortschritt können die Störungsdauer und das Risiko irreversibler Bodenverdichtungen durch Tiefbauarbeiten unter ungünstigen Witterungsbedingungen vermindert werden.

Der zügigen Baudurchführung im Sommerhalbjahr können artenschutzrechtliche Belange (z. B. Brutvogelschutz) entgegenstehen. Durch Bauunterbrechungen zur Einhaltung von Bauzeitenfenstern können sich Bauzeiträume verlängern. Entsprechende Zielkonflikte sind im Einzelfall abzuwägen.

---

<sup>74</sup> Dies sollte bei der Konzeption eines naturverträglichen Trassenmanagements (vgl. Kapitel 6) mitbedacht werden.

## **Verlegeformen**

Die Verlegung von nur einem System pro Graben ist aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten (hier: Weiterbetrieb im Fehlerfall) vorteilhaft. Jedoch ist diese Variante mit einer hohen Trassen- bzw. Schutzstreifenbreite verbunden, was insbesondere im Fall von Waldquerungen (Freihaltung) zu Konflikten führen kann. Bei Querung von Engstellen sollte geprüft werden, inwieweit eine abschnittsweise Verlegung mehrerer Systeme in einem Graben in Frage kommt und die Trassenbreite dadurch vermindert werden kann.

## **Verlegetiefe**

Die Verlegetiefe zwischen 1,5 und 1,7 m soll das Kabel vor Beschädigungen schützen und die uneingeschränkte Nutzung des Schutzstreifens erlauben. Zugleich ist das Kabel in dieser Tiefe noch gut erreichbar. Um eine Gehölzbestockung zu erhalten oder zu ermöglichen, kann das Kabel abschnittsweise tiefer verlegt werden (Unterbohrung), ohne dass daraus notwendigerweise Betriebseinschränkungen resultieren.

## **Lage der Arbeits- und Fahrstreifen**

Wie zuvor dargestellt, sind verschiedene Verlegeformen möglich. Für die Anlage der bauzeitlichen Arbeits- und Fahrstreifen besteht bei Verlegung der Kabel/ Kabelsysteme in zwei getrennten Gräben die Möglichkeit, diese entweder rechts und links der Gräben oder in der Mitte zwischen den Gräben anzuordnen. Im letztgenannten Fall kann eine mittige Lage zur Minderung der Flächeninanspruchnahme während der Bauzeit beitragen. Allerdings muss der Abstand zwischen den Gräben dann entsprechend breit sein, was die Breite der Gesamttrasse vergrößert und Auswirkungen auf die Breite des freizuhaltenden Schutzstreifens hat. Vor- und Nachteile sind abzuwägen.

## **Kabelbettung**

Ob die Verwendung von Bettungsmaterial zur Wärmeableitung erforderlich ist, hängt von den örtlichen Bedingungen (Homogenität und Wärmeleitfähigkeit des anstehenden Bodens) ab. Flüssigboden hat den Vorteil, dass vorhandenes Material zur Bettung verwendet werden kann. Allerdings werden dem Flüssigboden Zuschlagstoffe (Stabilisatoren, Flockungsmittel) zugesetzt, deren Auswirkungen bisher wenig erforscht sind. Die Nutzung von ortsfremem Sand zur Wärmeableitung bedeutet höhere Transportvolumina, ist dafür aber mit geringeren Risiken behaftet. Die Verwendung von Magerbeton trägt zur Untergrundversiegelung bei und sollte nur in Ausnahmefällen angewandt werden.

## **Kabelschutzrohre**

Die Möglichkeit, bei Verwendung von Kabelschutzrohren den Kabelgraben schneller wieder schließen zu können, hat auch aus Naturschutzsicht Vorteile. Ob der Austausch fehlerhafter Kabel zwischen zwei Muffen im Schadensfall dadurch tatsächlich erleichtert wird, muss sich noch erweisen. Auch die Kabelschutzrohre altern und müssen nach Ablauf ihrer Lebensdauer ausgetauscht werden. Falls durch Kabelschutzrohre der Umfang an Freihaltungmaßnahmen im Schutzstreifen geringer ist als bei rohrloser Verlegung, sind diese naturschutzfachlich gegenüber einer rohrlosen Verlegung vorzuziehen.

## **Muffenbauwerke**

Ein Verzicht auf Muffenbauwerke mindert die unterirdische Versiegelung. Befinden sich störungsempfindliche Tierarten oder Lebensräume im Umfeld der Muffe, kann ein festes begehbares Muffenbauwerk ein Aufgraben im Fehlerfall überflüssig machen.

## **Zugangs- und Wartungswege**

Hinsichtlich der Frage, ob die Erreichbarkeit der Trasse und der Muffen für schwere Maschinen durch die Anlage befestigter Zugangs- und Wartungswege erforderlich ist, vertreten die ÜNB unterschiedliche Auffassungen. In welchem Umfang bzw. in welchen Abschnitten sie als erforderlich gelten und für welche Lasten sie ausgelegt sind, hat beträchtliche Auswirkungen auf den anlagebedingten Flächenbedarf. Unter dem Aspekt der Minimierung sollte in erster Linie das vorhandene Wegenetz genutzt und ggf. ertüchtigt werden. Die Anlage fester Zuwegungen ist u. U. auf Muffenstandorte und Kabelübergabeanlagen zu beschränken.

### **3.3.2 Minderungsmöglichkeiten durch grabenlose Bauweisen**

Die mit der offenen Bauweise verbundenen, bau- und anlagebedingten Beeinträchtigungsrissen können durch den Einsatz geschlossener (syn.: grabenloser) Bauweisen – HDD-Verfahren, Unterpressung, Mikro-Tunnel-Verfahren – gemindert werden.<sup>75</sup> Darüber hinaus kann auch der Einsatz eines Verlegepflugs zu den grabenlosen Bauweisen gezählt werden, da kein offener Graben hergestellt wird. Im Folgenden werden Einsatzbereiche und Leistungsfähigkeit sowie Anwendungserfahrungen kurz dargestellt, bevor auf die Vermeidungspotenziale eingegangen wird.

#### **HDD-Verfahren – Erfahrungen und technische Ausführung**

Die oberflächennahe Horizontalbohrtechnik ermöglicht eine geortete und gesteuerte grabenlose Pilotbohrung mittels Bohranlage bzw. -gestänge, das auch um Kurven oder Barrieren herum geführt werden kann (BAYER 2008). Welche Verfahren eingesetzt werden (Bohr-Spül- oder Bohr-Pressverfahren) ist abhängig von der Boden- bzw. Gesteinsart (vgl. PELLOW 2014). Bei Bohr-Spülverfahren kommen Spülemulsionen mit Bentonit zur Anwendung.

Die maximalen Unterbohrungslängen für Erdkabel hängen von den eingesetzten Maschinen, den Kabellieferlängen und vom (Zug-)Gewicht des einzuziehenden Kabels ab. Je länger die Bohrstrecke, desto schwerer und leistungsfähiger muss das Bohrgerät sein. Mit einer 450-t-Anlage können Bohrungen von bis zu 3.000 m Länge realisiert werden,<sup>76</sup> allerdings kann der Bohrlochdurchmesser bei einer langen Bohrstrecke nur gering sein. Derzeit beschränkt die lieferbare Kabellänge die Bohrstrecke. Für längere Distanzen müssten mehrere Bohrab-

---

<sup>75</sup> vgl. auch TenneT GmbH (2012) wonach sich das „HDD-Verfahren als optimales und in Bezug auf eine Minimierung des erforderlichen Eingriffs konkurrenzloses Verfahren etabliert“ hat.

<sup>76</sup> Als Beispiele werden die Querung des Elbunterlaufs bei St. Margareten oder die Querung des Albsees bei Immenstadt in einem einzigen Bohrvorgang genannt. Ein weiteres Beispiel ist der Wolgastausee/Russland, der auf einer Länge von 2,1 km unterbohrt wurde.

schnitte hintereinander realisiert und in der Tiefe mit Muffen verbunden werden. Eine Beschreibung der Funktionsweise und Ausführung findet sich u. a. bei BAYER (2008). Aus Kostengründen werden Unterbohrungen i. d. R. auf nicht offen querbare Hindernisse (Verkehrstrassen, Gewässer) sowie auf die Überwindung von „Engstellen“ oder gesetzlich geschützte Bereiche beschränkt.

In den Niederlanden und Dänemark wurden erste Erfahrungen mit Unterbohrungen im HDÜ-Netz bereits vor 2010 gesammelt. Das niederländische 380-kV-HDÜ-Projekt „Randstad380-Zuidring“ weist mit 40 % der 10,8 km langen Kabeltrasse hohe Unterbohrungsanteile auf. Die 12 VPE-Kabel wurden im HDD-Verfahren äquidistant verlegt. Die mit 530 m längste Unterbohrung erfolgte hier zur Querung eines flächenhaften Naturdenkmals („Entenfang“).

In Deutschland lagen bis 2010 keine bohrtechnischen Verlegungserfahrungen für HöS-Erdkabel vor (BAYER 2011, 32). Diese wurden erst bei der Realisierung der HGÜ-Offshore-Anbindungen gewonnen (vgl. Dick 29.05.2016). Neben Deichquerungen im Anlandungsbeereich erfolgte eine HDD-Langstreckenbohrung (1.300 m) zur Emsunterquerung (einschließlich angrenzender FFH-Gebiete<sup>77</sup>). Hier wurden mit Hilfe von Großbohrtechnik drei Parallelbohrungen durchgeführt, in die Stahlschutzrohre (DN 200 mm) eingezogen wurden. Sie liegen 4 m unter der Sohle der Ems (> 20 m unter Geländeoberkante) und nehmen jeweils ein Kabel auf.

Im Pilotvorhaben „380-kV-HDÜ-Erdkabelabschnitt Raesfeld“ wurde das Pilot-Bohr-Pressverfahren für die Unterquerung einer Bundesstraße (Unterquerungsstrecke 40 m) angewendet. Hier wurden Steinzeug-Vortriebsrohre (=Mantelrohre, DN 400) mit einem Achsenabstand von ca. 1,5 m eingebracht (Amprion 2011, 75). In diese wurden anschließend Kabelschutzrohre (DN 250) und die Kabel selbst eingezogen.

Die Anwendung von HDD-Verfahren wird mit zunehmender Kabelanzahl aufwändiger und komplexer. Da nicht beliebig viele Parallelbohrungen zeitgleich möglich sind, können Unterbohrungen bei Verlegung von mehr als 2 Kabeln auch zeitaufwändiger sein. Das HDD-Verfahren ist v. a. für Kabelanlagen mit geringeren Übertragungsleistungen (z. B. < 1 MW) und überschaubaren Standortverhältnissen geeignet. Werden mehrere Bohrstränge erforderlich, sind möglicherweise andere Verfahren, wie z. B. das Micro-Tunneling besser geeignet.

### **Micro-Tunneling-Verfahren – Erfahrungen und technische Ausführungen**

Bei Erdkabelabschnitten, in denen die Horizontalbohrtechnik z. B. aus geologischen Gründen nicht eingesetzt werden kann, wie bei grobkiesigen Böden oder Böden mit Findlingen sowie gesteins- oder felsreichen Böden, stellt das Micro-Tunneling eine Alternative dar (vgl. LUDWIG PFEIFFER o. J.). Micro-Tunneling gehört zu den Schildvortriebsverfahren. Das Material wird in einem Brechraum zerkleinert und von dort mittels einer Suspension ausgespült (vgl. LUDWIG PFEIFFER o. J.). Insofern werden mechanischer Vortrieb und Spülverfahren kombiniert.

---

<sup>77</sup> Im Rahmen der Emsquerung wurde auch das FFH-Gebiet „Unterems und Außenems“ einschließlich der beiden Naturschutzgebiete „Petkumer Deichvorland“ und „Nendorper Deichvorland“ zur Vermeidung von Beeinträchtigungen unterbohrt.

Je nach Geologie und Nennweite können Strecken bis zu 1.200 m Länge mit einem Durchmesser von 200-3.200 mm vorgepresst werden (LUDWIG PFEIFFER o. J.). Die Präzision der Steuerung ist mit max. 25 mm vertikaler und 40 mm horizontaler Abweichung (LUDWIG PFEIFFER o. J.) sehr hoch. Das Verfahren gilt als ausgereift.

Das Micro-Tunneling wird bisher überwiegend im innerstädtischen Raum für Abwasser-, Druckrohr- oder Schutzleitungen eingesetzt. Auch im Erdgasleitungsbau ist das Verfahren über längere Strecken erprobt. So wurde 2011 im Zuge der Erdgasfernleitung NEL<sup>78</sup> ein ca. 1.000 m langer Micro-Tunnel zur Querung eines Moores (NSG) in 18 m Tiefe gebaut. Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Elbquerung („Elbdüker“ zwischen Hetlingen und Lühe-sand) mit einer Länge von 1.500 m. Das Verfahren kam zum Einsatz, da im Untergrund Geschiebemergel mit Findlingen ansteht. Mit einem Bohrlochdurchmesser von 3,1 m und einem Innendurchmesser des Vortriebsrohres von ca. 2,4 m handelt es sich um eine großtechnische Ausführung mit entsprechend aufwändiger Baustelleneinrichtung.<sup>79</sup> Derartige Durchmesser werden für HöS-Erdkabel nicht benötigt, es sei denn es werden noch andere Leitungsinfrastrukturen mitverlegt.

Erfahrungen mit der Anwendung des Micro-Tunneling Verfahrens konnten im Zuge des HGÜ-Interkonnektors zwischen Spanien und Frankreich („Pyrenäenquerung“) gesammelt werden. Hier wurde ein 8,5 km langer Tunnel mit 3,5 m Durchmesser parallel zu dem Tunnel für einen Hochgeschwindigkeitszug angelegt.

In Deutschland soll das Micro-Tunneling-Verfahren im Zuge der HGÜ-Verbindung Oberzier – Lixhe in zwei Abschnitten eingesetzt werden<sup>80</sup>:

- 2,8 km langer Abschnitt zwischen Aachen und dem Stadtteil Aachen-Brand; parallel zur Autobahn A 44. Gründe für die grabenlose Verlegung sind naturschutzrechtliche Schutz-tatbestände, die Tangierung eines Wasserschutzgebietes sowie fehlende Alternativen.
- Abschnitt zur Unterquerung des Augustinerwaldes.

In beiden Abschnitten ist Kalksandstein im Untergrund vorhanden. Der Tunnel soll im erst- genannten Abschnitt in einer Tiefe von 8 bis 10m angelegt werden. Er wird nach Millinghaus (05.11.2015, mdl.) einen Durchmesser von 1.600 mm haben, ist also eingeschränkt begeh- bar. Im Tunnel werden zwei HGÜ-Kabel in Kabelschutzrohren (800 bis 1.000 mm) verlegt. Diese werden wiederum in Betonblöcken verlegt, deren Abstand 0,75 m beträgt. Etwa im Abstand von 1.000 m werden feste, begehbare Muffenschächte in ebendieser Tiefe ange- legt.

---

<sup>78</sup> Nordeuropäische Erdgasleitung; 440 Kilometer Länge; von Lubmin an der Ostseeküste in Mecklen- burg-Vorpommern bis nach Rehden in Niedersachsen.

<sup>79</sup> Zum Beispiel sind Start- und Zielgrube als wasserdichte Spundwandkonstruktion ausgeführt und 20 m tief.

<sup>80</sup> Die Angaben basieren auf Auskünften von Millinghaus (05.11.2015, telefonisch) mit dem Hinweis auf mögliche Änderungen.

## **Verlegepflug-Verfahren – Erfahrungen und technische Ausführungen**

Verlegepflug-Verfahren nehmen eine Mittelstellung zwischen Grabenbauweise und grabenloser Bauweise ein. Bei der Verlegung mit einem Verlegepflug können in einem Arbeitsgang gleichzeitig mehrere Kabel/Rohre inklusive darüber liegendem Warnband in den Boden eingezogen werden, ohne dass Boden ausgehoben und umgelagert werden muss. Mit dem Verlegeschwert des Pfluges wird das Erdreich bei der Vorwärtsbewegung auf Breite des zu verlegenden Kabels oder Rohres auseinander gepresst. Gleichzeitig formt der Schwertschuh die Ablagesohle für das Kabel, das im selben Vorgang in den so entstehenden Schlitz hineingeführt wird. Danach schließt sich das Erdreich über dem Kabel wieder (FÖCKERSPERGER, online). Der Boden wird also in einem Arbeitsgang geöffnet, das Kabel oder Rohr hineinverlegt und wieder geschlossen.

Der Verlegepflug wird von einer Seilzugraupe gezogen. Seilgezogene Pflugtechnik kann nur auf „freier Fläche“ eingesetzt werden. Die Technik seilgezogener Pflüge ist aus der Verlegung von Mittel- und Hochspannungsleitungen sowie von Glasfaser- und Telekommunikationskabeln bekannt. Auch bei der Verlegung von Seekabeln wird eine ähnliche Technik verwendet. Nach Angaben eines Herstellers (FÖCKERSPERGER Verlegesysteme) können mit entsprechend schwerer Technik auch an Land HöS-Kabel und Kabelschutzrohre verlegt werden.

Nach FÖCKERSPERGER (online<sup>81</sup>) ist die Verlegetiefe stufenlos bis 2,5 m Tiefe einstellbar. Der Einsatz ist nach Herstellerangaben bei fast allen Bodenklassen (Feuchtgebiete bis leichter Fels) möglich, da mit der schweren Technik eine Reißkraft bis zu 200 t erreicht wird. Mit dem Verlegepflug können auch Rohre bis zu einem Durchmesser von 630 mm (im Nachziehverfahren) bzw. 450 mm (im Direktverlegeverfahren) eingebracht werden (ebda). Die Verlegeleistung eines solchen Pflugs kann bis zu 1.500 m/ h erreichen, abhängig vom Boden und zu verlegendem Rohr. Diese Angaben sind Herstellerangaben. Auswertbare Erfahrungen zur Anwendung bei der HöS-Erdkabelverlegung an Land liegen noch nicht vor.

### **Vermeidungspotenziale grabenloser Bauweise**

Gegenüber der offenen Bauweise lässt sich der Umfang bau- und anlagebedingter Beeinträchtigungen durch grabenlose Bauweisen wie HDD und Micro-Tunnel wirkungsvoll mindern. Erfahrungen aus dem Erdgasleitungsbau sowie der Verlegung von Offshore-Anbindungen<sup>82</sup>, wo diese Techniken nicht nur zur Querung von Hindernissen, sondern auch zur Schonung wertvoller Lebensstätten und Lebensräume angewendet werden, belegen dies.

Gegenüber der offenen Grabenbauweise reduzieren sich bei grabenlosen Verfahren die bauzeitlichen und anlagebedingten Auswirkungen: Baufeldfreimachung sowie Bodenaushub und Umlagerung reduzieren sich auf die Start- und Zielgrube der Bohrung. Beeinträchti-

---

<sup>81</sup> Online unter <http://www.foeck.com/verlegepflug.html>.

<sup>82</sup> vgl. auch TenneT GmbH (2012b), wonach sich das „HDD-Verfahren [bei der Herstellung von HGÜ-Offshore-Anbindungen; d. Verf.] als optimales und in Bezug auf eine Minimierung des erforderlichen Eingriffs konkurrenzloses Verfahren etabliert“ hat.

gungswirkungen, wie Baustelleneinrichtung oder Störung durch Baustellenbetrieb und Emissionen, sind punktuell begrenzt, wodurch sich der potenziell betroffene Wirkraum vermindert. Der Umfang der von Beeinträchtigungsrisiken für den Boden (v. a. Verdichtungen, Schadstoffeinträge) und Lebensraumverlust betroffenen Flächen wird deutlich reduziert. Durch sorgfältige Standortplanung können Lebensraumverluste im Bereich der Bohrgruben und zugehörigen Arbeitsflächen minimiert werden. Ebenso sind Eingriffe in den Boden- und Wasserhaushalt räumlich begrenzt; Risiken von irreversiblen Schäden am Bodengefüge, etwa durch unzureichende oder unsachgemäße Schutzvorkehrungen und Befahrensbeschränkungen sind bei Unterbohrungen deutlich geringer. Zudem wird das Risiko unerwünschter chemischer Prozesse (Versauerung, Jarositbildung; Abbau organischer Substanz) vermindert. Eine grabenlose Bauweise kommt daher auch bei Querung empfindlicher Böden, bei denen das Risiko der Versauerung, Entwässerung oder Humuszehrung besteht, in Frage.

Der wichtigste Vorteil geschlossener Bauweisen liegt in der Vermeidung dauerhafter anlagebedingter Lebensraumverluste und Funktionseinschränkungen. Schutzwürdige Lebensräume und Lebensräume streng geschützter Arten können erhalten werden und das Maß bauzeitlicher Tötungsrisiken vermindert sich. In Abschnitten geschlossener Bauweise können auch Gehölze bestehen bleiben, so dass nicht nur Beeinträchtigungen wertvoller Lebensräume, sondern auch des Landschaftsbildes und des Erholungswertes vermieden werden können. Im Interesse der Vermeidung von Zerschneidungswirkungen in Wäldern und im Interesse des Erhalts von Gehölzbeständen auf Erdkabeltrassen sollte geprüft werden, inwieweit ein Bestandserhalt durch grabenlose Bauweise möglich ist.

Allerdings ist zu beachten, dass aufgrund des Spüldrucks je nach Bodenstruktur und -gefüge Bentonit ausbläser<sup>83</sup> möglich sind. Das Risiko lässt sich durch sorgfältige Erkundung und einen angepassten Bohrvortrieb unter Reduzierung der dabei verwendeten Drucke vermindern. Den geschilderten Vorteilen der grabenlosen Bauweise steht ein erhöhtes Risiko von Bohrabbrüchen und Ausbläsern gegenüber. Diese Risiken, die sich nicht sicher vermindern lassen, sind insbesondere bei Querung empfindlicher Lebensräume sorgfältig gegenüber den Vermeidungsvorteilen abzuwägen.

### **Vermeidungspotenziale von HDD-Verfahren und Mikro-Tunneling**

Die räumliche Konzentration der bauzeitlichen Beeinträchtigungen (punktuell statt linienhaft) mindert die Reichweite von Störwirkungen und begrenzt die Bereiche für potenzielle Schadstoffeinträge. Die punktuellen Lebensraumverluste im Bereich der Bohrgruben und zugehörigen Arbeitsflächen können durch sorgfältige Standortplanung minimiert werden. Ebenso sind Eingriffe in den Boden- und Wasserhaushalt räumlich begrenzt; Risiken von irreversiblen Schäden am Bodengefüge, etwa durch unzureichende oder unsachgemäße Schutzvorkehrungen und Befahrensbeschränkungen, sind bei Unterbohrungen deutlich geringer.

Bei HGÜ-Verbindungen mit Erdkabelvorrang (SuedLink, Südostpassage; Emden/Ost-Osterath) und den erweiterten Möglichkeiten für eine Erdverkabelung im HDÜ-Netz werden

---

<sup>83</sup> Oberflächige Austritte von Spülflüssigkeit während des Bohrvortriebs.

Fälle eintreten, in denen die Querung naturschutzfachlich wertvoller und/oder geschützter Bereiche mit dem Erdkabel erforderlich wird. Aufgrund des hohen Vermeidungspotenzials sollte die Ausführung in grabenloser Bauweise in geschützten oder schutzwürdigen Bereichen mit hoher Lebensraumbedeutung, hoher Störungsempfindlichkeit von Tierarten sowie in Bereichen mit seltenen Böden und/oder hoher Bodenverdichtungsempfindlichkeit regelmäßig geprüft werden. Durch den Erhalt eines schützenswerten, geschlossenen Gehölzbestandes oder Waldes können nicht nur Beeinträchtigungen der biotischen Schutzgüter, sondern auch Beeinträchtigungen auf das Landschaftsbild und die Erholungsnutzung (z. B. Schneisenbildung) vermieden werden.

### **Vermeidungspotenziale Verlegepflug**

Im Unterschied zum HDD-Verfahren und Micro-Tunneling ist die Arbeitsfläche zuvor zu berräumen. Zur Schonung des Oberbodens wird dieser im Arbeitsstreifen abgehoben. Der Umfang von Bodenaushub und -umlagerung sind jedoch minimiert; es kommt zu keiner Offenlage des Bodens. Nach Verlegung bleibt ein vergleichsweise geringer Bodenaufwurf (Überschuss), der im Zuge der Rekultivierung eingearbeitet oder abgefahren werden muss.

Durch das Befahren des Arbeitsstreifens mit schwerem Gerät bestehen zwar auch hier Bodenverdichtungsrisiken, gegen die entsprechende Vorkehrungen zu treffen sind, jedoch nicht in gleichem Umfang wie bei offener Grabenbauweise. Vorteilhaft ist der schnelle Baufortschritt, wodurch die Dauer von Störungseffekten vermindert wird.

Die beschriebene Verlegetechnik sollte auch für die in Deutschland geplanten Höchstspannungs-Erdkabel-Projekte erprobt und hinsichtlich ihrer Auswirkungen naturschutzfachlich beurteilt werden. Möglicherweise bieten sich Vermeidungs- und Verminderungspotenziale auf Standorten, die gegenüber den bauzeitlichen Auswirkungen der offenen Grabenbauweise empfindlich sind (geringere Zeiträume der Offenlage, geringeres Risiko von Versauerung und Humusabbau, geringere Risiken der Beeinträchtigung oder Tötung streng geschützter Arten).

### **3.3.3 Erfordernis einer Umweltbaubegleitung**

Die Umweltbaubegleitung (UBB)<sup>84</sup> ist ein ganz wesentlicher Bestandteil der naturverträglichen Umsetzung von Erdkabelprojekten. Sie trägt dazu bei, dass die im Rahmen der Vorhabensgenehmigung im LBP festgelegten Schutz- Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen sachgerecht und genehmigungskonform umgesetzt werden und Beeinträchtigungen – wie prognostiziert - auch tatsächlich unter der Erheblichkeitsschwelle bleiben.

Eine UBB ist bisher nicht verpflichtend vorgeschrieben, wird aber bei vergleichbaren Projekten von den Fachbehörden empfohlen (vgl. u. a. Gemeinsamer Runderlass Rohrleitungsbau NW 2002). Durch eine entsprechende Festlegung im Planfeststellungsbeschluss (PFB) kann eine verbindliche Verpflichtung für das jeweilige Verfahren erreicht werden. Gerade bei linienhaften Tiefbauvorhaben in der Landschaft weist eine UBB für den Vorhabenträger Vor-

---

<sup>84</sup> Die UBB umfasst als Oberbegriff die sog. „Ökologische Baubegleitung“ sowie die „Boden-Baubegleitung“.

teile auf. Ist eine UBB vorgesehen, verschafft dies Flexibilität: starre, den Bauablauf ggf. behindernde Festlegungen im PFB können vermieden werden; ein etwaiger Änderungsbedarf hält sich in Grenzen. Dies ist gerade bei schnell fortschreitenden linienhaften Bauvorhaben („Wanderbaustellen“) von Vorteil. Im Rahmen der UBB können kurzfristig notwendige Anpassung an unvorhergesehene Ereignisse (z. B. Witterungsverlauf) beurteilt und ggf. mit den zuständigen Fachbehörden abgestimmt werden.

Der Vorhabenträger kann außerdem die Beachtung aller gesetzlichen Umweltvorschriften, Normen und Regelwerke, insbesondere die Einhaltung der naturschutzrechtlichen Vorgaben aus der Baurechtserlangung (Einhaltung von Verbotstatbeständen), sowie die Vermeidung von Umweltschäden (Biodiversität, Boden, Wasserhaushalt) nachweisen und sich durch eine Dokumentation rechtlich absichern (vgl. LBM RHEINLAND-PFALZ 2009, 1).

Die Ökologische Baubegleitung umfasst vornehmlich die Durchführung von Schutzmaßnahmen (z. B. Kennzeichnung von Flächen zum Schutz vor Befahren oder Nutzung als Lagerflächen) sowie Artenschutzmaßnahmen vor und während der Baufeldfreimachung (z. B. Absammeln und Umsetzen von Individuen, Aufstellen von Schutzzäunen für Amphibien, Anlage von Ausweichhabitaten; Kennzeichnen und Absperren geschützter Bereiche). Das Weiteren gehört dazu die laufende Kontrolle der Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen in der Bauphase.<sup>85</sup> Ein Großteil der Maßnahmenanforderungen ergibt sich aus dem artenschutzrechtlichen Fachbeitrag; ein anderer Teil aus dem landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP).

Zur Vermeidung baubedingter Beeinträchtigungen sind eindeutige und konkrete boden- und wasserschützende Vorgaben<sup>86</sup> im LBP unerlässlich. In Abschnitten mit besonders schutzwürdigen und empfindlichen Böden bestehen ggf. erhöhte Anforderungen an die sachgerechte Ausführung der Baumaßnahmen wie auch der entsprechenden Vorkehrungen.

Regelmäßige Aufgaben der Boden-Baubegleitung bestehen in der Überwachung der Vermeidung schädlicher Bodenvermischungen sowie der Überwachung der Durchführung von Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung von schädlichen Bodenverdichtungen (z. B. Ermittlung der Befahrbarkeit oder Bearbeitbarkeit von Böden in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte). Hierfür bedarf es fortlaufender Messungen und Analysen von Bodenfeuchtwerten. Die zur Ermittlung der Bodenfeuchte anzuwendenden Messmethoden sind zuvor festzulegen.

Für eine Bauunterbrechung, Beschränkungen des Einsatzes schwerer Maschinen oder die Anlage zusätzlicher Vorkehrungen (Baustraßen) bedarf es möglichst konkreter Vorgaben (vgl. GZP GbR 2015). Von zentraler Bedeutung ist die eindeutige Festlegung von „Grenzwerten“, ab denen der Boden nicht mehr oder nur noch eingeschränkt befahren werden darf.<sup>87</sup> Nach schlechten Erfahrungen und aufgrund der vgl. hohen Verdichtungsempfindlichkeit

---

<sup>85</sup> vgl. INROS Lackner (2014a und 2014); GFN 2012; Rasmus (16.02.2012)

<sup>86</sup> Zum Beispiel Einsatzbeschränkungen bzw. -verbote für Maschinen, differenziert nach Gewicht/Bereifung und der vor Ort gemessenen Bodenfeuchte (vgl. z. B. LLUR 2014; LBEG 2014).

<sup>87</sup> vgl. u. a. GZP GbR (2013) und GZP GbR (2015).

norddeutscher Tieflandböden wurden in Niedersachsen (LBEG 2014) und Schleswig-Holstein (LLUR 2014) entsprechende Richtwerte erarbeitet.

Weitere Aufgaben betreffen die Kontrolle und Abstimmung von Wasserhaltungsmaßnahmen sowie die Kontrolle der Verbringung von Pumpwässern. Diese können entweder eingeleitet oder auf dafür festgelegten Flächen versickert werden.

## **4 Möglichkeiten der Verwendung von Gehölzen auf einer Erdkabeltrasse**

Die (Wieder)-Herstellung gehölzgeprägter Biotope auf Erdkabeltrassen kann in einigen Fällen wünschenswertes Entwicklungsziel sein. Dem steht die Freihaltung des Schutzstreifens von tiefwurzelnden Gehölzen (>1 m Wurzeltiefe) seitens der Netzbetreiber gegenüber, die aus Gründen der Betriebssicherheit erfolgt.

### **4.1 Stand der Forschung von Gehölzwurzeln und den davon ausgehenden Auswirkungen auf unterirdische Versorgungsleitungen**

Für einen Überblick des aktuellen Forschungsstandes ist es notwendig, die verschiedenen Perspektiven, aus denen Wurzeln betrachtet werden, mit einzubeziehen. In Anbetracht der thematischen Ausrichtung des Projektes, ist es gleichzeitig zielführend, den Fokus auf relevante Teilbereiche der Wurzelforschung zu richten. Es gibt eine Vielzahl an Disziplinen, die sich mit Wurzeln beschäftigen, aber nur einige davon sind für die Fragestellungen des Projektes von Bedeutung.

Den Rahmen für die Auswertung des aktuellen Stands der Wurzelforschung gibt die Frage, ob eine Bepflanzung von Erdkabeltrassen mit Gehölzen möglich ist. In diesem Zusammenhang ist es unter anderem wichtig zu wissen, welche potenziellen Gefahren für ein Erdkabel von tief reichenden Starkwurzeln ausgehen, wie sich die Starkwurzeln verschiedener Arten unter bestimmten Bedingungen verhalten und welche Maßnahmen es zum Schutz unterirdischer Leitungen gibt.

Neben der eigentlichen Wurzelforschung, deren Untersuchungsgegenstand ausschließlich die Wurzel ist, sind unter anderem die Biologie, Biotechnologie, Agrarforschung, Forstökologie/ -ökonomie und Medizin an der Erforschung von Wurzeln beteiligt. Die Interaktion von Wurzeln und unterirdischen Leitungen wird vor allem in den Bereichen Deponietechnik und unterirdische Infrastruktur untersucht. Da die Anwendbarkeit der Forschungsergebnisse auf die oben genannten Fragen im Vordergrund steht, wird die Auswertung der Wurzelforschung innerhalb folgender Themenfelder abgehandelt:

- Wurzelforschung
- Unterirdische Infrastruktur
- Deponieschutz

#### **4.1.1 Wurzelforschung**

Die Wurzelforschung ist als Sammelbegriff für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Wurzeln zu verstehen, unter dem sich Arbeiten aus verschiedenen Disziplinen einordnen lassen. Dennoch gibt es Forschungsinstitutionen, die sich explizit der Wurzelforschung widmen und sie als eigenständiges Fachgebiet verstehen. Wesentlich für die Fragestellung zur Interaktion zwischen Erdkabeln und Gehölzwurzeln sind KUTSCHERA ET LICHTENEGGER (2002), INTERNATIONALE GESELLSCHAFT FÜR WURZELFORSCHUNG (ISRR; 2001, 2009), ÖSTER-

REICHISCHEN GESELLSCHAFT FÜR WURZELFORSCHUNG (2011), BÖHM (1979) UND KÖSTLER ET AL. (1968). In den Werken werden Grundlagen der Wurzelphysiologie, Wurzelökologie, Wurzelmorphologie und Wurzelanatomie betrachtet.

#### **4.1.2 Unterirdische Infrastruktur**

Ein Themenfeld, aus dem sich Rückschlüsse auf die Fragestellung der Vereinbarkeit von Gehölzwurzeln und Erdkabeln ziehen lassen, ist die Leitungs-Wurzel-Interaktion bei unterirdischer Infrastruktur. Vor allem im städtischen Raum ist die Nähe von Gehölzen (z. B. Straßenbegleitgrün) und unterirdischen Leitungen keine Ausnahme. Konflikte zwischen verschiedenen Nutzungen entstehen, wenn die Ausbreitung von Wurzeln zu einer Schädigung von Leitungen führt oder Kanäle und Kabel den Lebensraum der Gehölze einschränken. Die Koexistenz von unterirdischer Infrastruktur und Bäumen auf begrenztem Raum stellt eine Herausforderung für Leitungsbetreiber und Stadtverwaltungen dar. Um sowohl die positiven Effekte der Begrünung des urbanen Raums zu erhalten als auch die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, ist es notwendig, sich mit Fragen der Interaktion von Wurzeln und Leitungen auseinanderzusetzen. Trotz der unterschiedlichen räumlichen Kontexte sind die Erkenntnisse durchaus auf Höchstspannungserdkabeltrassen übertragbar. Zwar unterscheiden sich Aufbau und Maßstab der Anlagen, dennoch ist das Prinzip der Wechselwirkungen zwischen Leitung und Wurzel vergleichbar.

Zu den zentralen Themen, die im Zusammenhang mit unterirdischer Infrastruktur erforscht werden, zählen die Ursachen für den Einwuchs von Wurzeln in Leitungsrohre (u. a. DIBURG; BENNERSCHIEDT 2012, STÜTZEL ET AL. 2004, HONDS 2011, STRECKENBACH ET AL. 2007), das Wurzelverhalten unter bestimmten Bodenbedingungen (u. a. BALDER 1998, BOSSELER; STÜTZEL 2011) und Möglichkeiten der Wurzellenkung durch spezielle Bettungsmaterialien (u. a. BOSSELER ET AL. 2010, BENNERSCHIEDT 2011, STRECKENBACH ET AL. 2013). Insbesondere STRECKENBACH (2009) UND STÜTZEL ET AL. (2004) beinhalten ausführliche Untersuchungen der Interaktion zwischen Wurzeln und unterirdischer technischer Infrastruktur.

Danach ist für das Einwachsen das Vorhandensein weniger verdichteter Bereiche, die Porenräume aufweisen entscheidend. Auch die Bodeneigenschaften wurden in Hinblick auf die Durchwurzelung ausgewertet. Danach waren lockere Böden mit hohem Anteil grober Poren förderlich für das Wurzelwachstum (STÜTZEL ET AL. 2004). Daraus schließen die Autoren, dass Leitungen durch den Einbau von stärker verdichteten Füllböden mit geringem Porenvolumen geschützt werden könnten (vgl. STÜTZEL 2004). Die Untersuchung des Wurzelverhaltens in verschiedenen Bettungssubstraten bestätigte diese Annahme.

Dabei spielt der Nährstoffgradient durch austretendes Wasser eine untergeordnete Rolle. Im Vordergrund steht die Verfügbarkeit von Porenräumen und Sauerstoff. Auch wenn primär Abwasserleitungen untersucht werden, sind die Ergebnisse auch auf die Bedingungen einer Erdkabeltrasse anwendbar.

Laut STRECKENBACH (2009) wird die mechanische Belastung als Faktor für das Eindringen in Rohrleitungen identifiziert. Des Weiteren wird hervorgehoben, dass die Körnung von Bettungsmaterialien Einfluss auf die Wachstumsrichtung von Gehölzwurzeln hat und eine Steu-

erung durch spezifische Bettungsmaterialien möglich ist. Maßgeblich für die Richtung des Wurzelwachstums sind „Dichteunterschiede in direkter Umgebung der Wurzelspitze“ (STRECKENBACH 2009, S. 126). Grundsätzlich wählt die Wurzel den Weg des geringsten Widerstands, weg von verdichteten und hin zu weniger verdichteten Bereichen. Das Wachstum entlang von Dichtegradienten macht die Entwicklung der Wurzel lenkbar und vorhersehbar.

In Teilen sind die Ergebnisse aus der Forschung zur Wurzel-Leitungs-Interaktion direkt auf Fragestellungen zur Bepflanzung von Erdkabeltrassen übertragbar. Insbesondere die Lenkbarkeit des Wurzelwachstums und die Nutzung von porenarmen, verdichteten Bettungsmaterialien erweitern die Möglichkeiten der Koexistenz von Leitungen und Gehölzen.

#### **4.1.3 Deponietechnik**

In Bezug auf Gehölzwurzeln sind die Problemlagen beim Deponieschutz und bei Höchstspannungserdkabeln vergleichbar. In beiden Fällen soll eine unterirdische Infrastruktur vor Wurzelschäden geschützt werden. Die ausreichend tiefe Rekultivierungsschicht gewährleistet den Schutz von Abdichtungselementen auf Deponien. In der bisherigen Praxis der Gestaltung von Erdkabeltrassen wird der Schutzstreifen von Gehölzen freigehalten, um so Wurzelschäden am Kabel zu vermeiden. Für die Gehölzbiotopentwicklung auf Erdkabeltrassen kann die Literatur zum Deponieschutz Hinweise liefern.

Eine Herausforderung bei der Rekultivierung von Abfalldeponien besteht darin, dass die Wasserversickerung durch die Rekultivierungsschicht so gering wie möglich gehalten werden soll. Durch die Bepflanzung der Rekultivierungsschicht kann die Wasserspeicherkapazität gesteigert werden. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass die tiefer liegenden Dichtungselemente durch tief wachsende Wurzeln beschädigt werden. Es besteht ein Zielkonflikt zwischen dem Anspruch der Durchwurzelung einerseits und der Vermeidung von Wurzelschäden andererseits. Als Lösung dieses Konflikts werden Möglichkeiten des Wurzelschutzes diskutiert (vgl. STRECKENBACH 2009).

Ähnlich wie bei der Gestaltung von Erdkabeltrassen mit Gehölzen, stellt sich im Zusammenhang mit der Bepflanzung der Rekultivierungsschicht auf Deponien die Frage nach der typischen oder artenspezifischen Wurzeltiefe von Gehölzen. Allerdings kann es beim Deponiebau durch das Eindringen von Feinwurzeln zur Beschädigung der Abdeckschicht kommen, beim Leitungsbau sind die auf Kabelhöhe befindlichen Starkwurzeln und die von diesen ausgehenden Zug- und Druckkräfte auf die Kabel von entscheidender Bedeutung.

Aus den in der Literatur beschriebenen Aspekten des Wurzelschutzes auf Abfalldeponien (Deponieverordnung<sup>88</sup>, HENKEN-MELLIES ET AL. 2010, KUTSCHERA ET LICHTENEGGER 2002) lassen sich nur bedingt Rückschlüsse auf die gehölzgeprägte Gestaltung von Erdkabeltrassen ziehen. Da sich die zu schützenden unterirdischen Strukturen Erdkabel und Abdichtungsschicht grundsätzlich unterscheiden, sind verschiedene Schadensformen relevant. Starkwurzeln weisen nicht die gleiche Reichweite wie tiefwachsende Feinwurzeln auf. Eine direkte Übertragung der Empfehlung für die Mächtigkeit einer Schutzschicht ist daher nicht

---

<sup>88</sup> Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV), S. 27 f.

möglich. Zusätzlich bestätigt die Literatur über Deponietechnik Aussagen der Wurzelforschung, wonach die Wurzelentwicklung entscheidend von standörtlichen Gegebenheiten bestimmt wird und ein Gefährdungspotenzial im Einzelfall bewertet werden muss.

## **Fazit**

Der Themenkomplex Wurzel spielt in verschiedenen Fachrichtungen eine Rolle und wird aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. Dabei wird wiederholt die Frage der das Wurzelwachstum beeinflussenden Faktoren thematisiert. Trotz der unterschiedlichen Kontexte konnten Gemeinsamkeiten in der Argumentation identifiziert werden. Wurzelwachstum, Wurzelform und Wurzeltiefe werden maßgeblich von standortspezifischen Einflussfaktoren bedingt und können nicht verallgemeinert werden. Es wird zudem deutlich, dass in ausreichender Tiefe keine Interaktionen zwischen Wurzeln und unterirdischer Infrastruktur mehr zu erwarten sind.

## **4.2 Eigenschaften von Wurzeln**

Zu den physiologischen Fähigkeiten der Baumwurzel zählen die Aufnahme, Leitung und Speicherung von Wasser und Nährstoffen. Innerhalb des Wurzelsystems erfüllen verschiedene Wurzeltypen unterschiedliche Aufgaben. Kurzlebige Feinwurzeln dienen der Wasser- und Nährstoffaufnahme, Schwach-, Grob-, Derb- und Starkwurzeln bilden das Stützgerüst (vgl. STIMM ET AL. 2013).

Grundsätzlich lassen sich Wurzeln in zwei Entwicklungsstadien unterteilen. Sie unterscheiden sich in ihrem Alter, ihrer Beschaffenheit und ihren Funktionen. Die jüngeren Wurzeln liegen in der größten Tiefe, sind unverholzt und flexibel und haben die Funktion, Wasser und Nährstoffe aufzunehmen. Von den älteren Wurzeln sind die meisten verholzt, wenig flexibel und haben die Fähigkeit der Wasseraufnahme verloren. Dafür dienen sie der Stabilisierung und Verankerung des Baumes im Boden.

Nur wenn sich die Wurzel noch in der ersten Entwicklungsphase befindet, finden eine Ausbreitung und ein Wachstum in der Länge statt (STRECKENBACH 2011). Die Formbarkeit der Spitze hat auch zur Folge, dass die Wurzel zu einem Wachstum in porenreichen Böden tendiert. Das Zusammenspiel der Bodenbedingungen und der mechanischen Eigenschaften der Calyptra bestimmt die Richtung des Wurzelwachstums (DIBURG ET AL. 2012).

KÖSTER ET AL. (1968) nehmen die gleiche Unterscheidung vor und bezeichnen ältere, verholzte Wurzeln als Skelettwurzeln, die der Verankerung im Boden dienen und keine Absorptionsfähigkeit mehr aufweisen. Wurzeln in einem frühen Entwicklungsstadium, die der Nährstoffaufnahme dienen, beschreiben sie als Endwürzelchen. Diese haben meist nur eine kurze Lebensdauer oder sie entwickeln sich zu Skelettwurzeln.

Die Ausprägung von Wurzelsystemen ist so vielfältig wie die des Sprosssystems, was die Erstellung einer allseits anerkannten Klassifizierung von Wurzelbildern erschwert (vgl. DE KROON ET AL 2003). Alle Wurzelsysteme haben gemeinsam, dass sie von einer unverzweigten Keimwurzel ausgehen. Die modulare Struktur von Wurzelsystemen (jedes Meristem kann eine Vielzahl untergeordneter Meristeme generieren) ermöglicht eine flexible Anpassung der

Wurzelarchitektur an Veränderungen der lokalen Bodeneigenschaften. Ein Unterscheidungsmerkmal der Wurzeln ist ihre Dicke und die damit verbundenen unterschiedlichen Funktionen.

Tabelle 4-1: Unterscheidung von Wurzeln nach ihrer Stärke

	Feinwurzeln < 5 mm			Grobwurzeln > 5 mm		
	Feinstwurzeln	Feinwurzeln	Schwachwurzeln	Grobwurzeln	Derbwurzeln	Starkwurzeln
Durchmesser	< 1 mm	1 - 2 mm	2 - 5 mm	5 - 20 mm	20 - 50 mm	>50 mm

#### 4.2.1 Tiefe

Die Tiefe des Wurzelsystems steht in direktem Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von Wasser im Boden. Wenn in den oberen Bodenschichten trockene Bedingungen herrschen, muss das Wurzelsystem tief gelegene Bodenschichten erreichen, um eine Versorgung mit Wasser und Nährstoffen zu gewährleisten. So ergibt sich für eine bestimmte Gehölzart eine Spanne an Wurzeltiefen, die beobachtet wurden. Abhängig von den Standorteigenschaften können Gehölze der gleichen Art Wurzeln mit unterschiedlichem Tiefenstreben ausbilden. Eine allgemeine Einteilung von Gehölzen in Flach- und Tiefwurzler ist somit nur ein grober Ansatz der Klassifizierung, der immer an Hand der Standortbedingungen hinterfragt werden muss.

Zudem wird bei den Angaben zur artenspezifischen Wurzeltiefe selten zwischen der Tiefe der verschiedenen Wurzelarten unterschieden. Bei den am tiefsten wachsenden Wurzeln handelt es sich um Feinwurzeln, während verholzte Starkwurzeln meist in oberen Bodenschichten wachsen.<sup>89</sup> Für die Einschätzung des Gefahrenpotenzials von Gehölzwurzeln für Höchstspannungserdkabel ist die Wurzeltiefe in Verbindung mit der Beschaffenheit der Wurzel von zentraler Bedeutung.

#### 4.2.2 Verankerung

Für die Verankerung des Gehölzes im Boden sind die tragenden, fundamentgebenden horizontalen und vertikalen Skelettwurzeln (Starkwurzeln) zuständig. Die Notwendigkeit der Verankerung erschließt sich bei hochwachsenden Gehölzen aus primär zwei Gründen: Die Pflanze muss zum einen in der Lage sein, der gravitationsbedingten Kompression durch das Eigengewicht zu widerstehen. Zum anderen müssen vor allem hochwachsende Gehölze seitlichen Windkräften standhalten. Von zentraler Bedeutung für die Verankerung sind die die Basis bildenden, grundständigen Wurzeln, während junge, fern vom Stamm liegende Feinwurzeln keine Rolle spielen.

Die Stabilität eines Gehölzes resultiert aus der Verteilung der Wurzeln im Boden (Wurzelarchitektur) und der Interaktion zwischen Wurzel und Boden. Wurzeln verdichten den Boden zu einem Teller, der auf Grund seines Gewichts als Anker funktioniert. Auf feuchten Böden ist

<sup>89</sup> vgl. Anmerkungen Streckenbach zu den zentralen Ergebnissen des vorliegenden Projektes (2016)

die Wahrscheinlichkeit des Windwurfs höher, da solche Böden instabiler als an trockenen Standorten sind.

Je stärker die Verzweigung des Wurzelwerks ist, desto stabiler ist die Verankerung des Gehölzes. Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass das Wurzelsystem an besonders windigen Standorten Anpassungen vornehmen kann, die zur Stabilitätssteigerung beitragen. STOKES ET AL. (1995) haben beobachtet, dass Bäume in exponierten Lagen auf der windzugewandten Seite dickere und stärker verzweigte Wurzeln ausbilden.

### **4.3 Wurzelwachstum beeinflussende Faktoren**

Die Form von Gehölzwurzeln, also Wurzelverzweigung, Spross-Wurzel-Verhältnis und Art der räumlichen Wurzelverteilung im Boden, werden durch eine Reihe von Faktoren bestimmt. Ein dominanter, konstanter Reiz ist die Gravitation, die das Richtungswachstum der Wurzel prägt. Daneben können andere Reize das Wurzelwachstum beeinflussen und die Wirkung des Gravitropismus überlagern. Wenn Reize und Umwelteinflüsse die Ausbreitung von Wurzeln bestimmen, bedeutet das, dass die Entstehung von Wurzelsystemen gewissen Gesetzmäßigkeiten folgt (STRECKENBACH 2012) und teilweise vorhersehbar sein müsste.

#### **4.3.1 Genotypen**

In der Literatur werden neben horizontal wachsenden Wurzeln drei Gruppen von Vertikalwurzeln beschrieben (vgl. SINN 1988):

- Pfahlwurzeln sind vertikal gerichtete Hauptwurzeln, die der Unterseite des Stocks (unterirdische Verlängerung des Stamms, Kern des Wurzelwerks) entspringen.
- Herzwurzeln wachsen seitlich des Stocks oder von dessen Unterseite diagonal in die Tiefe.
- Senkwurzeln entspringen horizontal wachsenden Wurzeln und gehen schräg oder senkrecht in die Tiefe ab.

Nach dem Vorherrschen eines der Vertikalwurzeltypen oder von Horizontalwurzeln können genotypisch festgelegte Wurzelsysteme beschrieben werden: Pfahlwurzelsystem, Herzwurzelsystem, Horizontalwurzelsystem, Senkerwurzelsystem (vgl. u.a. Sinn 1988). Die Ausbildung eines für eine Baumart genotypisch festgelegten Wurzelsystems erfolgt jedoch nur auf einem für die jeweilige Baumart idealen Standort. Weichen die Standortbedingungen vom Optimum ab, kann dies Auswirkungen auf die Form des Wurzelsystems haben. Zudem gibt es Übergänge zwischen den Wurzelsystemen.

In Bezug auf das Tiefenstreben der Wurzeln werden häufig folgende Wurzelformen beschrieben:

- Tiefwurzler: eine tief gehende, vertikale Hauptwurzel, von der horizontal Seitenwurzeln abgehen
- Flachwurzler: tellerförmige Wurzeln in den oberen Bodenschichten
- Herzwurzler, Wurzeln dringen in alle Richtungen vor, Wurzeln weder ausgeprägt tief noch flach. Der Querschnitt der Pflanzenwurzeln hat eine Herzform.

#### **4.3.2 Einfluss klimatischer Bedingungen**

Zu den wesentlichsten Einflussfaktoren gehören klimatische Bedingungen wie Licht, Temperatur, Wind und Niederschlag.

Licht bedingt das Wurzelwachstum am stärksten indirekt über die Photosynthese. Bei starkem Lichtgenuss kommt es zu einer vermehrten Wurzelmasse. Im Umkehrschluss bilden Pflanzen unter verminderter Lichtexposition ein reduziertes Wurzelsystem aus. Beschattung hat außerdem zur Folge, dass die Bodenwärme abnimmt, was zusätzlich zu einer Minderung des Wurzelwachstums beiträgt. Nach den Beobachtungen von KUTSCHERA UND LICHTENEGGER (2002) nimmt auch die Wurzeltiefe mit zunehmender Beschattung ab.

Das Wurzelsystem ist in der Lage, Anpassungen an äußere Umwelteinflüsse, insbesondere statische Reize, vorzunehmen, um die Verankerung im Boden und die Stabilität des Baumes zu gewährleisten. So ist die Ausprägung des Wurzelsystems in Hanglagen anders ausgelegt als in flachem Gelände. Eine Anpassung findet auch auf Grund von Windeinflüssen statt. Die Anforderungen an das Grobwurzelwerk, das für die Standfestigkeit verantwortlich ist, sind auf Grund der Windexposition bei freistehenden Bäumen größer als im Verbund.

#### **4.3.3 Einflussfaktoren im Boden**

Die Entwicklung von Bodenarten beruht auf der Interaktion von Klima, Ausgangsgestein, Topographie, Vegetation, biologischer Aktivität und der Zeit, in der diese Interaktion erfolgt. Dieser Entstehungsvorgang verläuft nicht gleichmäßig, was dazu führt, dass der Boden ein dreidimensionales Mosaik ist, dessen Eigenschaften sich standortspezifisch unterscheiden. Die Verfügbarkeit von Wasser, Nährstoffen und Porenräumen sowie die Lagerungsdichte sind räumlich ungleich verteilt. Die Heterogenität von Böden und den darin vorkommenden Wasserhaushaltsverhältnissen hat zur Folge, dass die Wurzelsysteme entsprechend der örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich ausgeprägt wachsen. Eine Beurteilung der Wurzelentwicklung muss daher immer die Bodenbedingungen mit einbeziehen (DE KROON ET AL. 2003). Ebenso ist die kontinuierliche Versorgung mit Wasser ein entscheidender Standortfaktor für Gehölze (STRECKENBACH 2012). Die Ungleichverteilung von Feuchtigkeit im Boden kann dazu führen, dass das Wurzelwachstum asymmetrisch verläuft und stark vom erblichen Bauplan abweicht (MICKOVSKI, ENNOS 2003).

Die Bodenwärme wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst und hat selbst entscheidende Auswirkungen auf die Wurzelentwicklung. Bedeutsam für die Wärmeentwicklung im Boden sind die Intensität der Einstrahlungsenergie und des Treibhauseffektes. Die daraus folgende Erwärmung des Bodens wird wiederum durch die Beschaffenheit des Bodens (Bodentextur, Wassergehalt) bestimmt (KUTSCHERA, LICHTENEGGER 2002). Während die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf an der Erdoberfläche und in den obersten Bodenschichten am stärksten sind, sind Temperaturunterschiede in einer Tiefe von z. B. 50 cm nur saisonal festzustellen. Dabei beeinflusst die Bodentemperatur nicht nur das Wachstum der Wurzel, sondern umgekehrt trägt die Wurzel auch zu Veränderungen der Bodenstruktur und des Bodenwasserhaushalts bei und bedingt damit auch die Temperaturentwicklung im Boden (GREGORY ET AL. 1987). Das Tiefenstreben von Gehölzwurzeln ist von der Reichweite (Tiefe) von Temperaturschwankungen im Boden abhängig. So ist die Wurzeltiefe bei tiefreichenden Temperaturschwankungen höher als bei Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche (KUTSCHERA, LICHTENEGGER 2002).

Bis zu einem gewissen Maß kann die Erhöhung der Bodentemperatur zu einer Zunahme der Wurzelaktivität führen. Wenn die Temperatur im Boden allerdings etwa 40 Grad überschreitet, degeneriert die Wurzel und stirbt ab. Wenn bis zu dieser Grenze ausreichend Luft und Wasser vorhanden sind, kann die erhöhte Temperatur den Stoffwechsel und die Wachstumsleistung der Wurzel beschleunigen.<sup>90</sup> Bei der Betrachtung der Auswirkungen der Erwärmung des Kabels auf das Wurzelwachstum ist es wichtig, wie stark die Erwärmung ausfällt. Es ist anzunehmen, dass die oben beschriebene geringfügige Erwärmung der oberen Bodenschichten durch Wärmeabgabe des Kabels keinen entscheidenden Beitrag zu einem gesteigerten Wurzelwachstum leistet. Sollten in unmittelbarer Umgebung des Kabels Temperaturen von 40 °C oder mehr erreicht werden, könnte es in diesem Bereich zu einem Absterben der Wurzel kommen.

Da Wurzeln während des Wachstums auf Sauerstoff angewiesen sind, sind die Bodenluft und das Sauerstoffangebot im Boden ein weiterer relevanter Einflussfaktor. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Grobporenvolumen und der Verfügbarkeit von Sauerstoff im Boden. Je höher das Grobporenvolumen im Boden ist, desto größer ist das Angebot an in der Bodenluft enthaltenem Sauerstoff. Liegt der Luftgehalt des Bodens (Gesamtvolumen der luftführenden Poren) unter 10 %, kommt es zu Beeinträchtigungen des Wachstums von Gehölzen (WILDE 1962). Ein weiterer Hinweis auf die Bedeutung von Sauerstoff für das Wurzelwachstum ist der Aerotropismus, also das Wachstum der Wurzeln hin zu durchlüfteten Bodenbereichen. Wenig dichte Stellen im Boden werden bevorzugt durchwurzelt und lassen eine stärkere Verzweigung zu. Verdichtete Böden sind weniger durchlüftet und können einer intensiven Durchwurzlung nicht zugänglich sein (KÖSTLER ET AL. 1968). In der Folge ist die Wurzelmenge in den oberen Bodenschichten, in denen die Durchlüftung am stärksten ist, i. d. R. am größten. Als zusätzliche wachstumsfördernde Einflüsse in den oberen Bodenschichten sind der höhere Nährstoffgehalt, eine stärkere Erwärmung und ein aktiveres Bodenleben zu nennen.

---

<sup>90</sup> vgl. Anmerkungen Streckenbach zu den zentralen Ergebnissen des vorliegenden Projektes (2016)

Wurzeln nutzen zudem bevorzugt Lückensysteme, wie sie z. B. an den Grenzflächen entlang von Leerrohren oder Kabeln im Übergang zum Bettungsmaterial bestehen.

Die Dichte des Bodens prägt die Richtung des Wurzelwachstums. In lockerem Substrat ist die Wurzelspitze in der Lage, Bodenpartikel zu verdrängen, um die eingeschlagene Richtung des Wachstums fortzusetzen. Trifft die Wurzel auf eine mechanische Barriere, wie ein Substrat mit einer höheren Dichte oder ein undurchdringliches Objekt im Boden, ändert sich die Orientierung des Wachstums. Vertikal nach unten wachsende Wurzeln können eine horizontale Ausrichtung einschlagen und entlang eines Hindernisses wachsen. Nachdem einem Hindernis seitlich ausgewichen wurde, setzt die Wurzel üblicherweise das Wachstum in der ursprünglichen Ausrichtung fort (COUTTS 1989).

Wenn die Wachstumsbedingungen günstig sind, kann die Wurzelspitze einen Druck von fast 12 bar ausüben (STRECKENBACH ET AL. 2009).

Besteht der Leitungsgraben für ein Erdkabel aus sandigem, offenem Gefüge, bildet er ein bevorzugtes Wachstumsumfeld für Gehölzwurzeln. Auch bei der Verfüllung mit Flüssigboden ist die Durchwurzelbarkeit weiterhin gegeben. In der Regel ist nicht mit einer übermäßigen Bodenverdichtung im Kabelgraben zu rechnen, die ein Einwachsen von Wurzeln verhindern würde. Die Kabel selbst stellen ein nicht durchdringbares Hindernis für Wurzeln dar. Lückenträume am Übergang zwischen Boden und Kabel können günstige Bedingungen für das Wurzelwachstum bieten. Bei einigen Gehölzarten (z. B. Ahorn, Platane) wurde wiederholt ein Umschlingen der Leitungsanlagen beobachtet, wodurch „dynamische und statische Kräfte, die aus Windkräfteintrag in das Kronenwerk des Baumes resultieren, auf die [...] Leitung übertragen“ werden (vgl. HONDS 2011).

### **Fazit**

Die Wurzelentwicklung wird maßgeblich von den Gegebenheiten des Wuchsortes beeinflusst, entsprechend passt sich die Wurzelwuchsform diesen standörtlichen Bedingungen an. Eine Abschätzung der Wurzelentwicklung kann daher nicht pauschal, sondern nur unter Einbeziehung konkreter Standortbedingungen erfolgen.

Zu den Bodeneigenschaften, die das Wurzelwachstum maßgeblich beeinflussen, zählen die verfügbaren Porenräume sowie die Lagerungsdichte, da die Versorgung mit Nährstoffen, Wasser und Sauerstoff damit in direktem Zusammenhang stehen.

Verdichtete Böden werden zwar weniger stark durchwurzelt als lockere Böden, stellen aber keine absolute „Wurzelsperre“ dar, solange noch Porenräume vorhanden sind.

Lückenträume zwischen Kabel/Schutzrohr und Boden können günstige Bedingungen für das Wurzelwachstum bieten und daher bevorzugt von Wurzeln genutzt werden. Das Kabel selbst ist ein nicht durchdringbares Hindernis für Wurzeln, dem sie ausweichen.

#### 4.4 Schadensformen

Die Leitungs-Wurzel-Interaktion kann sowohl Schäden an der Leitung als auch an Wurzeln verursachen. An dieser Stelle wird vordergründig auf mögliche Schäden an unterirdischen Leitungen wie Erdkabeln eingegangen.

Ursache für mögliche Schäden an Erdkabeln durch Wurzeln sind primär Interaktionen mit lastableitenden Wurzeln und damit verbundene Kräfte, die auf die Leitung übertragen werden. Sogenannte Zugschlingen oder Druckstempel können Druck- bzw. Zuglasten auf das Erdkabel aufbringen (vgl. DVGW 2013).

Bei lasttragenden Wurzeln handelt es sich in den meisten Fällen um verholzte Starkwurzeln (Durchmesser über 5 cm). Auch wenn Feinwurzeln bereits verholzt sein können, stellen sie ein geringes Risiko für Leitungen dar.

Des Weiteren ist das Schadensrisiko bei Sträuchern geringer, da Starkwurzeln seltener und in geringerer Anzahl vorkommen sowie die Windwurfanfälligkeit der Krone und damit die auf die Wurzeln übertragenen Zug- und Druckkräfte in der Regel geringer ausfallen als bei Bäumen.<sup>91</sup>

Verschiedene Formen von Leitungsschäden sind aus Wurzel-Leitungs-Interaktionen im städtischen Bereich bekannt. Zu möglichen Leitungsschäden an Höchstspannungserdkabeln gibt es hingegen nur geringe Erfahrungswerte. Daher werden Analogieschlüsse aus den Erfahrungen aus dem städtischen Raum und von anderen Leitungsarten gezogen.

Zu den möglichen Schadensformen an HöS-Erdkabeln zählen:

- Verformungen und Risse der äußeren Ummantelung,
- eine Lageabweichung des Kabels und
- Beschädigung des Kabels durch Zugkräfte (insbesondere bei Windwurf).

Vor dem Hintergrund der angenommenen Schadensformen gilt die Freihaltung der Erdkabeltrasse von Gehölzen mit tiefreichenden Starkwurzeln als Vorsorgemaßnahme zum Schutz der Leitung. Weitere Schutzmaßnahmen werden im Folgenden beschrieben.

#### 4.5 Schutzmaßnahmen

Neben der Einrichtung eines Schutzstreifens, der Mindestabstände zwischen Bäumen und Kabelgraben festlegt, gibt es weitere Möglichkeiten, Schäden an Leitungen zu verhindern bzw. das Schadensrisiko zu reduzieren. Es werden passive Schutzmaßnahmen (im Leitungsraben) und aktive Schutzmaßnahmen (am Baumstandort) unterschieden (vgl. DVGW 2013).

Zur Reduzierung des Schadensrisikos tragen bereits verschiedene Bedingungen wie die übliche Verlegetiefe des Kabels und die vom Kabel ausgehende Wärmeemission bei.

---

<sup>91</sup> vgl. Anmerkungen Streckenbach zu den zentralen Ergebnissen des vorliegenden Projektes (2016)

Wärmeemissionen im direkten Umfeld des Kabels können zu Degenerationsprozessen der Wurzeln führen, sodass die Wurzelaktivität vermindert wird und eine mechanische Beschädigung des Kabels eher unwahrscheinlich ist. Zudem trägt die Verlegetiefe von 1,5 m bis 1,7 m dazu bei, dass die Wahrscheinlichkeit der Übertragung von Zugkräften durch Starkwurzeln im Fall eines Windwurfs verringert wird. In einer Tiefe von 1,5 m ist der potenzielle Schaden durch Windwurf bereits gemindert.

Von zusätzlichen Maßnahmen, die zur Minderung des Schadensrisikos durch Wurzeln beitragen können, wurden folgende geprüft und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beurteilt:

### **Vorauswahl von Gehölzen**

Nicht alle Gehölzarten weisen das gleiche Schadensrisiko für Erdkabel auf. Durch eine gezielte Vorauswahl der Gehölze für die Bestockung, kann das Schadensrisiko gesenkt werden (vgl. Kapitel 4.6).

### **Tieferlegung des Kabels**

Eine Möglichkeit der Vermeidung von Leitungs-Wurzel-Interaktionen ist die Tieferlegung des Kabels. Das Vorkommen von Starkwurzeln ist auf die oberen Bodenschichten beschränkt, so dass das Tieferlegen des Kabels dessen Erreichbarkeit für Wurzeln und die damit verbundenen, Zug- und Druckkräfte vermindert. In Trassenabschnitten, in denen ein Gehölzbewuchs aus Belangen des Natur- und Landschaftsschutzes erforderlich ist, wird der mit der Tieferlegung verbundene höhere bauliche Aufwand als hinnehmbar angesehen.

### **Verlegung in Schutzrohren**

HöS-Erdkabel können entweder direkt in die Erde oder aber in Schutzrohren verlegt werden. Vorteile von Schutzrohren sind z. B. eine leichtere Austauschbarkeit der Kabel (über die Muffen), die Vermeidung einer übermäßigen Erwärmung oberer Bodenschichten<sup>92</sup> und die Möglichkeit, den Kabelgraben nach Verlegung der Schutzrohre schnell wieder schließen zu können. Sie können das Kabel aber auch bis zu einem gewissen Grad vor Wurzelschäden schützen. Da kein direkter Kontakt zwischen Kabel und Wurzel gegeben ist, kann eine mechanische Beschädigung an der Isolierung ausgeschlossen werden. Jedoch können Zugschlingen weiterhin auftreten, sodass das Risiko einer Verformung bei Windwurfereignissen damit nicht vollständig ausgeschlossen ist.

### **Betonplatten**

Betonplatten oberhalb der Kabel schützen die Anlage vor mechanischen Schäden durch Befahren sowie gegen Schäden bei späteren Baggerarbeiten. Als Wurzelschutz sind die Platten kaum geeignet, da sie nicht lückenlos verbaut werden. Wurzeln können beinahe ungehindert in den Kabelgraben einwachsen.

---

<sup>92</sup> Das Kabel liegt auf der Unterseite des Leerrohrs auf. Der Freiraum im Leerrohr oberhalb des Kabels isoliert die vom Kabel ausgehende Wärme, die vorwiegend nach unten abgeleitet wird.

## **Wurzelschutzfolien**

Auch Wurzelschutzfolien oberhalb des Kabels können eine Durchwurzelung des Kabelgrabens nicht dauerhaft verhindern. Zudem können sie sich negativ auf die Durchlässigkeit des Bodens (Versickerung) auswirken und damit Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt ausüben.

## **Spundwände**

Eine aktive Schutzmaßnahme sind Spundwände, die das seitliche Einwachsen von Gehölzwurzeln in den Kabelgraben verhindern. Gerade zum Schutz erhaltenswerter Einzelgehölze, die sich in der Nähe der Kabelanlage befinden, könnte diese Lösung zum Einsatz kommen. Eine Anwendung auf längeren Strecken ist abzuwägen, da gegen Wurzeln wirksame Spundwände den lateralen Grundwasserzug behindern, wenn das Erdkabel im Bereich des Grundwassers liegt.

## **4.6 Artenauswahl für eine Gehölzbestockung**

Zur Gewährleistung der Sicherheitsanforderungen fordern die Übertragungsnetzbetreiber derzeit Wurzeltiefen von max. 1 m im Schutzbereich von Erdkabelanlagen. Dabei wird seitens der Netzbetreiber derzeit nicht zwischen Fein- und Starkwurzeln in dieser Bodentiefe unterschieden. Allerdings konnte im Rahmen dieses Vorhabens keine Differenzierung der Gehölze aufgrund deren Starkwurzelanteil in einer Bodentiefe von > 1 m vorgenommen werden. Die Forschungsnehmer haben daher die Fachliteratur und Gehölzlisten nach allgemeinen Angaben zu Wurzeltiefen ausgewertet, um herauszufinden, welche Gehölze dieser Anforderung entsprechen (vgl. v.a. KUTSCHERA, LICHTENEGGER 2002).

Die in Deutschland verbreiteten Gehölzarten wurden daher im Rahmen des Projektes vereinfachend nach den vorzufindenden Angaben zur Wurzeltiefe in drei Risikoklassen eingestuft:

- Risikoklasse 1            risikoarm            0 – 0,5 m Wurzeltiefe
- Risikoklasse 2            geringes Risiko    0,5 – 1 m Wurzeltiefe
- Risikoklasse 3            hohes Risiko       >1 m Wurzeltiefe

Sofern entsprechende Informationen vorhanden waren, wurde zwischen stark durchwurzelten Bereichen und der maximalen Wurzeltiefe unterschieden. Anderenfalls wurde die Risikoklasse, die aus der maximalen Wurzeltiefe resultiert, auch für den stark durchwurzelten Bereich angenommen (vgl. Kap. 8.7 im Anhang).

Nach den ausgewerteten Quellen können nahezu alle in Deutschland autochtonen Gehölze die Wurzeltiefe von 1 m überschreiten; zumal solche Arten, die als Waldbaum- oder -straucharten für eine Bestockung von Waldschneisen in Frage kämen. Ein Großteil der Arten würde aufgrund dieser Wurzeleigenschaft ausscheiden, es sei denn, es werden Vorkehrungen wie Unterbohrungen oder die Tieferlegung des Erdkabels getroffen bzw. bei den entsprechenden Arten müssten vertiefende Untersuchungen zu deren Ausprägung von Starkwurzeln in Bodentiefen über 1 m vorgenommen werden. Ohne weitere Vorkehrungen kommen primär lediglich Sträucher für die Bestockung von Erdkabeltrassen in Frage.

In Tabelle 4-2 sind die aufgrund ihrer Wurzeltiefe < 1 m in Frage kommenden Sträucher nach Risikoklassen 1 und 2 differenziert aufgeführt:

Tabelle 4-2: Übersicht Gehölzarten mit < 1 m Wurzeltiefe

Risikoklasse 1: risikoarm (Wurzeltiefe 0-0,5 m)	Risikoklasse 2: geringes Risiko (Wurzeltiefe 0,5 – 1,0 m)
Roter Hartriegel <i>Cornus sanguinea</i>	Gewöhnliches Pfaffenhütchen <i>Euonymus europaea</i>
Gewöhnlicher Schneeball <i>Viburnum opulus</i>	Gewöhnlicher Liguster <i>Ligustrum vulgare</i>
Faulbaum <i>Rhamnus frangula</i>	Kreuz-/Wegedorn <i>Rhamnus cathartica</i>

Die Tabelle verdeutlicht noch einmal das geringe Artenspektrum, mit dem gearbeitet werden kann, wenn die mögliche Wurzeltiefe als alleiniges Entscheidungskriterium gewählt wird.

#### 4.7 Bewertung des Schadensrisikos von Gehölzwurzeln für Erdkabel

Verschiedene Formen von Leitungsschäden sind aus den Betrachtungen von Wurzel-Leitungs-Interaktionen im städtischen Bereich bekannt. In Bezug auf mögliche Leitungsschäden an Höchstspannungserdkabeln gibt es hingegen nur geringe Erfahrungswerte. Daher werden Analogieschlüsse aus den Erfahrungen aus dem städtischen Raum und von anderen Leitungsarten gezogen und daraufhin eine Einschätzung des Schadensrisikos vorgenommen.

Nach den gegenwärtigen Annahmen der Netzbetreiber haben alle Gehölze mit möglichen Wurzeltiefen > 1 m ein hohes Schadenspotenzial. Diese pauschale Festlegung erscheint aus Naturschutzsicht jedoch zu undifferenziert, da keine Unterscheidung zwischen Stark-, Derby- und Feinwurzeln erfolgt. Das genetisch veranlagte Wurzelwachstum kann in der Praxis durch die Standortbedingungen stark modifiziert werden. Das eigentliche Schadensrisiko geht von Starkwurzeln aus, da nur diese entsprechende Kräfte auf die Erdkabel übertragen würden. Da den Starkwurzeln von Bäumen ein erhöhtes Schadensrisiko zugesprochen wird, müssten lediglich diejenigen Gehölze bei einer Bestockung ausgeschlossen werden, die in Bodentiefen über einem Meter Starkwurzeln ausbilden. Von Sträuchern und Kleinbäumen, Halbsträuchern sowie krautigen Pflanzen gehen – auch bedingt durch deren geringere Windwurfanfälligkeit – i. d. R. nur geringe Schadensrisiken aus, auch bei Wurzeltiefen von >1 m.

Bezüglich der Gefahr durch Windwurf kommt es zudem auf die spezifische Zug- und Bruchfestigkeit der Starkwurzeln an. Ein Schaden durch Windwurf tritt nur dann ein, wenn die Wurzel ausreichend fest ist, die Kraft also auf das Kabel überträgt und nicht selbst bricht. Des Weiteren muss die Windwurfanfälligkeit des Gehölzes berücksichtigt werden, die wiederum selber von verschiedenen Faktoren abhängig ist (vgl. SINN 1983). Ein Herausheben des

Kabeln bei Windwurf setzte auch voraus, dass das Kabelbauwerk (Leitungen inklusive des darüber liegenden Bodenkörpers) versagt und einen solchen Hub gestattet.<sup>93</sup>

Es wird deutlich, dass das Schadensrisiko, das von Wurzeln für Erdkabel ausgeht, von einem Zusammenspiel verschiedener Faktoren bestimmt wird. Eine Bewertung des Schadensrisikos allein anhand der Wurzeltiefe greift zu kurz und schränkt die Auswahl möglicher Arten für eine Bestockung stark ein. Ein erster Schritt wäre, die mögliche Wurzeltiefe der Starkwurzeln zu verwenden und danach eine Neubewertung des Risikos vorzunehmen. Die dafür notwendigen Angaben liegen in der Literatur aber bisher nicht vor.

Eine noch stärker differenzierte Einschätzung wäre gegeben, wenn das Schadensrisiko der Gehölzarten standortspezifisch im jeweiligen Einzelfall ermittelt wird. Es ist davon auszugehen, dass die Auswahl geeigneter Arten damit zunimmt. Eine standortspezifische Bewertung ist im Falle von Erdkabeltrassen allerdings sehr aufwendig, da große Flächen betroffen sind und z.B. die Bodeneigenschaften wie oben beschrieben mosaikartig wechseln können. Zudem braucht es entsprechende Fachkenntnis und Erfahrung.

---

<sup>93</sup> vgl. Anmerkungen Streckenbach zu den zentralen Ergebnissen des vorliegenden Projektes (2016)

## **5 Hinweise und Empfehlungen für die Umsetzung einer naturverträglichen Trassengestaltung**

Im Zuge der geplanten Neubauvorhaben im Höchstspannungsnetz ist – insbesondere aufgrund der Änderungen bei den Erdkabelregelungen (BBPLG 2015) – mit deutlich mehr Erdkabelstrecken zu rechnen, als dies bisher der Fall war. Es ist daher eine berechtigte Forderung, diese Entwicklung aus naturschutzfachlicher Sicht zu beobachten und Konzepte für eine naturverträgliche Nutzung der Trassen zu entwickeln, sofern die Flächen nicht anderweitig genutzt werden. Im Zuge des immer weiter zunehmenden Flächendrucks ist es wichtig, alle verfügbaren Flächenpotenziale für eine gezielte Biotopaufwertung zu nutzen, soweit die örtlichen Gegebenheiten hierfür vorhanden sind.

Derzeit sind eine Rekultivierung und Wiederaufnahme der vorhandenen Nutzung auf Erdkabeltrassen der Standardfall, da es sich um landwirtschaftliche Flächen handelt. Zukünftig muss von der Realisierung von Erdkabeltrassen auch in Wäldern ausgegangen werden.

Aus Gründen der Betriebs- und Versorgungssicherheit werden Pflegemaßnahmen durch die Übertragungsnetzbetreiber auf den Trassen erfolgen. Diese können je nach Pflegekonzept und -erfordernissen zur Beeinträchtigung der Belange von Natur und Landschaft beitragen. Eine allgemeine rechtliche Verpflichtung zur Umsetzung eines ökologischen Trassenmanagements<sup>94</sup> besteht nicht.

Auch Vermeidungs-, Minderungs- oder Kompensationsmaßnahmen, die aus Bau, Anlage oder Betrieb von Leitungen resultieren, können auf den Trassen umgesetzt werden.

Es gibt aber auch Beispiele, bei denen durch gezielte Eingriffe Freileitungstrassen so entwickelt werden, dass bestimmte Arten oder Biotoptypen profitieren und die Artenvielfalt auf der Fläche erhöht wird. Es ist zu prüfen, welche Ansätze eines naturverträglichen Trassenmanagements auch für HöS-Erdkabeltrassen in Frage kommen und welche Voraussetzungen für deren Umsetzung notwendig sind.

### **5.1 Voraussetzungen für ein naturverträgliches Trassenmanagement auf Erdkabeltrassen**

Auch wenn Erdkabeltrassen potenziell für eine naturverträgliche Entwicklung in Frage kommen, müssen doch einige Voraussetzungen gegeben sein, damit ein entsprechendes Trassenmanagement in der Praxis umgesetzt werden kann:

#### **Örtliche Gegebenheiten**

Ein Ökologisches Trassenmanagement wird aus Naturschutzsicht nur dann befürwortet, wenn in Abstimmung mit den regionalen Naturschutzverbänden und -behörden die räumlichen Gegebenheiten und Erfordernisse zur Aufwertung von Flächen im Bereich der Erdkabeltrasse vorhanden sind. Hierzu sind die regionalen oder landesbezogenen Maßnahmenplanungen zur Entwicklung und Verbindung von Lebensräumen einzubeziehen.

---

<sup>94</sup> Der Begriff ökologisches Trassenmanagement (ÖTM) wird synonym gebraucht.

## **Einverständnis von Grundeigentümer und Bewirtschafter**

Zunächst stellt sich die Frage, inwieweit die Verfügbarkeit der Trassenflächen bzw. betroffener Flurstücke gegeben ist bzw. hergestellt werden kann und welche Akteure eine Verpflichtung zu bzw. ein Interesse an den Maßnahmen haben könnten. Die Erdkabeltrasse befindet sich nicht im Eigentum des Netzbetreibers. Dieser hat sich lediglich die Leitungsrechte sowie die Freihaltung grundbuchrechtlich gesichert. Der Eintrag der Dienstbarkeit beinhaltet die Duldung der Nutzungseinschränkungen. Für alle Pflegemaßnahmen auf der Trasse ist die Zustimmung des Eigentümers / Bewirtschafters erforderlich. Die Pflegemaßnahmen können ggf. mit Eintrag der Dienstbarkeit im Grundbuch festgehalten werden. Gerade auf landwirtschaftlichen Flächen ist es wahrscheinlich, dass der Eigentümer/ Pächter die landwirtschaftliche Nutzung nach Verlegung der Erdkabel im selben Umfang wie zuvor wieder aufnehmen möchte.

## **Finanzierung der Pflegemaßnahmen**

Die Netzbetreiber haben ein Interesse, die zur Betriebssicherheit notwendigen Pflegemaßnahmen möglichst kostengünstig umzusetzen. Laut Aussagen von Amprion und Westnetz verursacht ihr Konzept eines ökologischen Trassenmanagements langfristig geringere Kosten als die konventionelle Trassenpflege, weshalb sie ein Interesse haben, dieses anzuwenden. Daraus lässt sich aber keine rechtliche Verpflichtung (und damit Finanzierungspflicht) zur Maßnahmendurchführung ableiten. Die Durchführung von Maßnahmen kann sich gegebenenfalls aus den naturschutzrechtlich begründeten Vermeidungs- und Kompensationspflichten ergeben, wenn diese innerhalb des Trassenbereichs im Rahmen der Planfeststellung festgelegt werden. Soweit die Finanzierung nicht dergestalt realisiert werden kann, müssen andere Ansätze gefunden werden, z.B.:

- Festlegung durch Grundbucheintrag + Aufwandsentschädigung

Die Eintragung der Dienstbarkeit im Grundbuch wäre ein geeigneter Anknüpfungspunkt für Festlegungen zur Pflege oder Bewirtschaftung der Trasse: Befinden sich Standorte mit hohem Potenzial für die Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller Biotope im Bereich des Schutzstreifens, sollte in Kooperation mit dem Netzbetreiber versucht werden, entsprechende Maßgaben zur Nutzung der Trasse ebenfalls dinglich zu sichern. Darauf aufbauend kann im Rahmen privatrechtlicher Verträge eine Pflege oder Pflegenutzung (gegen eine entsprechende Aufwandsentschädigung) vereinbart werden.

- Freiwilliges Engagement des Netzbetreibers

In Kooperation zwischen Naturschutz und Netzbetreiber könnten Abschnitte identifiziert werden, in denen eine naturverträgliche Trassengestaltung zugleich besonders positive Effekte, z. B. auch für die Akzeptanz von Erdkabeltrassen hat, so dass der Netzbetreiber seine Mehraufwendungen für Entschädigungen oder Finanzierung der Pflege gerechtfertigt sieht. Die größten Realisierungschancen haben Pflegemaßnahmen, die auch großflächig umsetzbar sind und sich für den Netzbetreiber kostengünstiger darstellen als herkömmliche Kahlschlagverfahren (vgl. auch NABU 2014). Ein Beispiel hierfür ist der Biotopmanagementplan von Amprion und Westnetz.

- Kooperationen mit geteilter Finanzierungsverantwortung

Denkbar ist auch eine (teilweise) Finanzierung spezieller Pflegemaßnahmen durch Dritte. Ein interessantes Beispiel ist hier die Trassenpflege im Marscheider Wald, Stadt Wuppertal (vgl. DVL o. J.), bei der sich neben dem Netzbetreiber u.a. die Stadt Wuppertal, der Landesbetrieb Wald und Holz NRW sowie der ehrenamtliche Naturschutz (z.B. BUND) engagieren. Durch solche Kooperationen können Ressourcen gebündelt und auch aufwändigere Maßnahmen umgesetzt werden.

Für Konzepte, die großflächig angewendet werden sollen, und dabei wenig aufwändig und kostengünstig sind, sehen die Forschungsnehmer gute Chancen einer Umsetzung durch die Netzbetreiber. Für die Verfolgung spezifischer Entwicklungsziele bedarf es i. d. R. der Kooperation mit Dritten, die ggf. zusätzliche Mittel und Knowhow in die Trassenpflege einbringen.

### **Sicherstellung der Pflegemaßnahmen**

Die Maßnahmen können z. B. durch den Eigentümer/ Pächter, den Netzbetreiber sowie durch Landschaftspflegeverbände, Flächenpoolbetreiber etc. erfolgen. Hierzu müssen entsprechende vertragliche Vereinbarungen getroffen werden.

### **Rechtliche Voraussetzungen für eine Bestockung mit Gehölzen**

Soll in Waldschneisen eine Bestockung mit Gehölzen erfolgen, müssen bestimmte rechtliche Voraussetzungen gegeben sein. Die Fläche muss nach wie vor Wald i. S. d. G. sein. Es darf also keine dauerhafte Waldumwandlung für den Schutzstreifen erfolgt sein.

### **Klärung der Rechtmäßigkeit von Eingriffen**

Da bei einem Fehlerfall an der Erdkabelanlage davon auszugehen ist, dass im Trassenbereich erdbauliche Maßnahmen erforderlich sind, ist die Frage von deren Rechtmäßigkeit möglichst im Vorfeld zu klären, da die Netzbetreiber ansonsten kein Interesse an der Entwicklung hochwertiger Biotope haben. Neben der Zulässigkeit eines zukünftigen Eingriffs, stellt sich die Frage nach dann möglichen Kompensationsverpflichtungen.

### **Zusammenarbeit verschiedener Akteure**

Wesentlich ist zunächst, die Flächenverfügbarkeit für etwaige Maßnahmen und deren Finanzierung sicher zu stellen und eine Einigung über die Entwicklungsziele zu erreichen. Dazu müssen alle beteiligten Akteure (vgl. Abbildung 5-1) zusammenarbeiten.

Nur wenn gegenläufige Interessen überwunden und ein gemeinsames Interesse oder eine Verpflichtung zur naturverträglichen Trassengestaltung besteht, kann diese umgesetzt werden. Je höher der Nutzungsdruck auf den Trassen ist, desto schwieriger wird es, die Flächen für die Umsetzung ökologischer Maßnahmen zu bekommen.



Abbildung 5-1: Zu beteiligende Akteure

## 5.2 Allgemeine Hinweise zur Festlegung von Entwicklungszielen

Für die Festlegung geeigneter Entwicklungsziele im Trassenbereich kommt es auf die lokalen funktionalen Bezüge und das Entwicklungspotenzial der Standorte an. Bei der Formulierung der Entwicklungsziele ist abzuwägen, ob Habitatfunktionen für bestimmte Offenlandarten oder Habitat- und Verbundfunktionen für Waldarten im Vordergrund stehen sollen. Dabei ist eine Trasse nicht als Einheit zu sehen. Entlang der Trasse gibt es einen Wechsel der Standorteigenschaften und Funktionen, mit dem auch ein Wechsel bei den Entwicklungszielen einhergehen kann. Ggf. können auch die Randbereiche der Schneise in eine Biotopentwicklung mit einbezogen werden.

Des Weiteren müssen die Entwicklungsziele die Sicherheitsanforderungen der Netzbetreiber berücksichtigen. Sollen bestimmte Maßnahmen erfolgen, um die Entwicklungsmöglichkeiten zu erweitern (z. B. Verwendung von Schutzrohren, Tieferlegung des Kabels), so müssen diese bereits bei den Planungen der Netzbetreiber und im Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden. Wegen der unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen können die Entwicklungsziele für den Schutzstreifen (über dem Kabelgraben) und für den Arbeitsstreifen (restliche Trasse) auch unterschiedlich ausgestaltet sein.

Sofern Minderungsmaßnahmen oder Kompensationsverpflichtungen vorliegen, die auf der Trasse umgesetzt werden sollen, sind diese bei der Formulierung der Entwicklungsziele zu integrieren.

Wenn die Umsetzung eines naturverträglichen Trassenmanagements nicht verpflichtend festgeschrieben werden kann und freiwillig erfolgt, muss bei der Aufstellung der Entwicklungsziele ggf. verstärkt auf die Interessen der Netzbetreiber und der Grundeigentümer bzw. Nutzer (z. B. Landwirtschaft, Forstwirtschaft) Rücksicht genommen werden. Das Interesse und die Bereitschaft der betroffenen Akteure kann nicht per se vorausgesetzt werden, es müssen Anreize bzw. Ausgleichsmechanismen gefunden werden.

Die Biotopentwicklungsziele für die Trasse müssen außerdem mit den vor Ort bestehenden weiteren Entwicklungszielen abgestimmt werden und sinnvoll eingebunden sein (forstliche Betriebsziele, Schutz- und Entwicklungsziele von Schutzgebieten etc.).

Die Entscheidung über die Entwicklungsziele hängt letztlich von den örtlichen Prioritäten und der örtlichen Einbindung in Verbundstrukturen ab und muss mit den beteiligten Akteuren (vgl. Abbildung 5-1) abgestimmt werden.

### **5.2.1 Anwendungsfälle**

Die Forschungsnehmer sehen zwei grundsätzliche Anwendungsfälle mit jeweils unterschiedlichen Optionen für ein ökologisches Trassenmanagement:

- Erdkabeltrassen im Wald (Schneisen)
- Erdkabeltrassen in siedlungsnahen Naherholungsräumen

Die Entwicklung von Gehölzbiotopen auf Erdkabeltrassen kann erforderlich sein, wenn ein schützenswerter Waldbestand in offener Bauweise gequert wird und damit wertvolle Waldlebensräume zerschnitten werden oder durch die Schneise eine Beeinträchtigung des Populationsaustauschs geschützter stenotoper Waldarten stattfindet. Durch die Wiederherstellung waldartiger Strukturen könnte die Barrierewirkung der Trasse gemindert werden.

Ein Sonderfall sind Trassenabschnitte, bei denen die Aufwertung von Naherholungsräumen Entwicklungsziel ist. Hier kann eine Bestockung mit Gehölzen zur Gestaltung wünschenswert sein (Ziersträucher, Parkbäume, aber auch Obstbäume).

Gemäß der Vereinbarung in der Projektarbeitsgruppe, befasst sich dieses Projekt vornehmlich mit dem Anwendungsfall der Waldschneise.

### **5.2.2 Geeignete Gehölzarten**

Die Auswahl der verwendeten Gehölzarten muss sich nach dem Entwicklungsziel richten und sich am Artenspektrum der betroffenen Lebensräume orientieren, insbesondere wenn die Bestockung der Wiederherstellung eines Waldbinnenklimas und der Minderung von Zerschneidungseffekten dienen soll. Es sollte auf gebietseigene Arten zurückgegriffen werden, wie sie in BFN (Hrsg.; 2009) für die Verwendung in der freien Landschaft zusammengetragen sind.

Wie in Tabelle 5-1 dargestellt, gibt es aber Maßnahmen, die die Zahl geeigneter Gehölzarten erhöhen kann. Neben einer standortspezifischen Artenbewertung, können z. B. Maßnahmen wie eine Tieferlegung des Kabels oder die Verwendung von Wurzelschutzrohren die Artenauswahl erhöhen.

Tabelle 5-1: Maßnahmen zur Ausweitung der Entwicklungsoptionen mit Gehölzen im Schutzstreifen

Vorgabe der Netzbetreiber	Einschränkungen für die Verwendung von Gehölzen	Empfehlung für die Erweiterung der Artenauswahl und der Entwicklungsoptionen
Festlegung maximaler Wurzeltiefe zur Vermeidung von Druckschäden und Schäden an der Isolierung	Artenauswahl für den Schutzstreifen eingeschränkt; Bestockung mit Gehölzen faktisch ausgeschlossen	Standortbezogene Risikoanalyse Standortbezogene Liste von geeigneten Gehölzarten Verlegung des Kabels in größerer Tiefe Verlegung des Kabels in Schutzrohren
Festlegung maximaler Wurzeltiefe zur Vermeidung von Zugschlingen und Schäden durch Windwurf	Artenauswahl für den Schutzstreifen eingeschränkt; Bestockung mit Gehölzen faktisch ausgeschlossen	Standortbezogene Risikoanalyse Standortbezogene Liste von geeigneten Gehölzarten Auswahl niedrig bleibender Arten Höhenbegrenzung der Gehölze Verlegung des Kabels in größerer Tiefe
Kurzhalten des Aufwuchses im Schutzstreifen, um Zugänglichkeit sicherzustellen	Artenauswahl für den Schutzstreifen eingeschränkt; Bestockung mit Gehölzen ausgeschlossen	Freihaltung differenziert für Muffenstandorte und Kabelstrecken Toleranzgrenze definieren Selektive Entnahme zu großer Gehölze Verwendung von Wurzelschutzrohren

### 5.2.3 Entwicklungsoptionen mit Gehölzen in der Praxis

Nicht alle Optionen sind sofort und ohne Einschränkungen umsetzbar. Nachfolgend werden Entwicklungsoptionen, die eine Bestockung mit Gehölzen beinhalten, noch einmal aufgegriffen und beispielhaft Lösungsmöglichkeiten für die Praxis abgebildet. Es werden Restriktionen angesprochen sowie Maßnahmen zu deren Überwindung.

#### Flächenhafte Bestockung

Bei Einhaltung der derzeitigen Sicherheitsvorschriften, ist diese Art der Bestockung nur sehr eingeschränkt möglich, da nur wenige geeignete gebietseigene Arten zu Verfügung stehen. Um das mögliche Artenspektrum zu erhöhen, müssten zunächst Maßnahmen zur Ausweitung der Entwicklungsoptionen umgesetzt werden. Eine flächenhafte Bestockung ist aufgrund des hohen Aufwandes nur anzustreben, wenn dadurch die Fragmentierung eines wertvollen Waldlebensraums vermieden werden kann oder zu kompensieren ist und/oder Barrierewirkungen, die den Populationsaustausch von geschützten oder gefährdeten Arten beeinträchtigen, vermieden werden können.

## Teilbestockung - Verbindungsriegel

Für Gehölzriegel quer zur Trasse (analog zu Grünbrücken bei Autobahnen) gelten ebenfalls die Einschränkungen bezüglich lokaler Waldbaumarten, auch hier müssen zunächst Maßnahmen zur Ausweitung der Entwicklungsoptionen umgesetzt werden. Eine Umsetzung ist aber wahrscheinlicher, da weniger Fläche betroffen ist und der Aufwand geringer ist. Die Unterbohrung kann dabei unmittelbar dem Erhalt einer Gehölzgruppe dienen oder aber sie ermöglicht im Nachhinein die Verwendung von tiefwurzelnden Gehölzen.

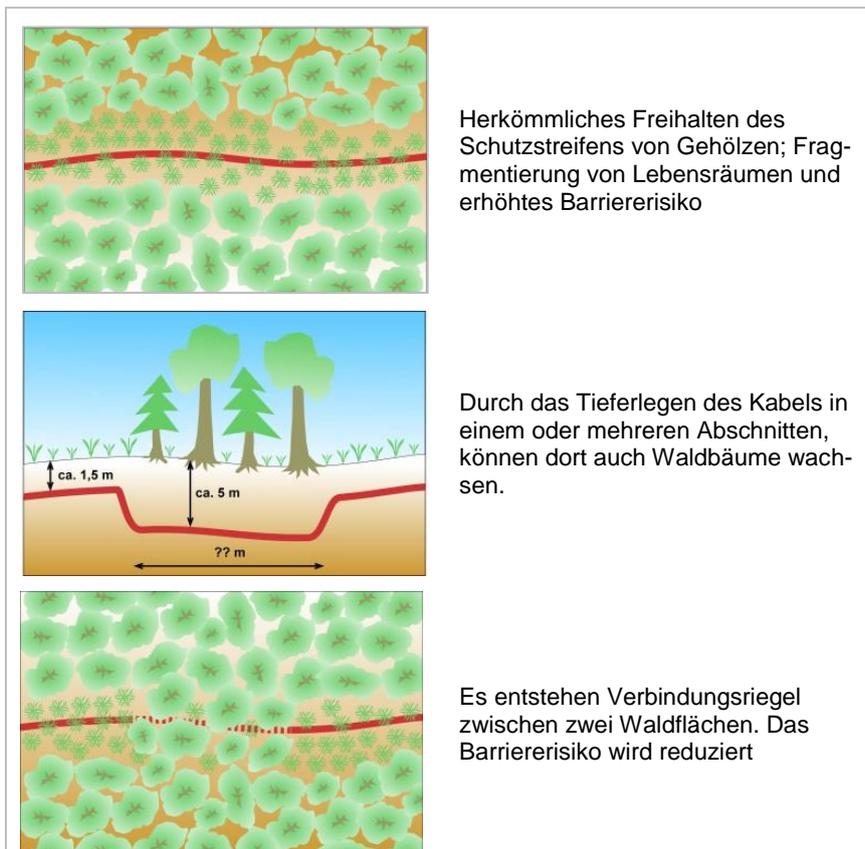


Abbildung 5-2: Möglichkeiten der Umsetzung von Verbindungsriegeln (schematische Darstellung)

## Teilbestockung – Gehölzvorsprünge im Arbeitsstreifen

Um die visuelle Wirkung der Schneise zu minimieren und zusätzlich Deckungsräume für die Fauna zu schaffen, kann im Arbeitsstreifen eine Bestockung in Form von Vorsprüngen erfolgen, die vom Trassenrand bis an den Schutzstreifen reicht (vgl. Abbildung 5-3). In diesem Bereich gibt es keine Einschränkungen bei der Artenauswahl. Hierdurch könnte man auch dem Freihaltungswunsch der Netzbetreiber entgegen kommen, da nur an bestimmten Stellen höherer Bewuchs zugelassen wird.

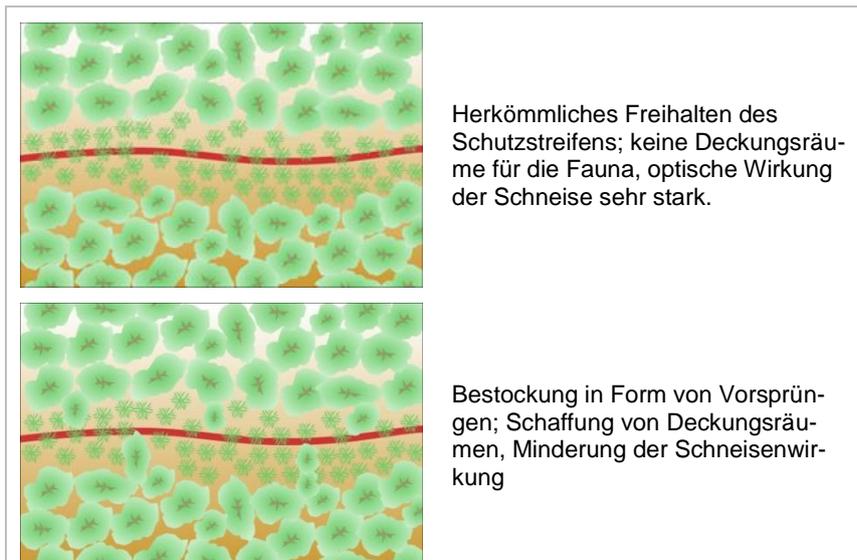


Abbildung 5-3: Möglichkeiten der Umsetzung von Gehölzvorsprüngen (schematische Darstellung)

### Teilbestockung - Sichtschutzriegel

Besonders wirkungsvoll kann die optische Schneisenwirkung dort reduziert werden, wo die Trasse Straßen oder Wege kreuzt. Das gewohnte Waldbild kann so erhalten bleiben. Zur Querung von Wegen werden meist Unterbohrungen vorgenommen, so dass das Kabel hier aus technischen Gründen tiefer liegt. Dies schafft mehr Entwicklungsoptionen, da dadurch auch Waldbäume verwendet werden können. Da die Unterbohrungen sowieso vorgenommen werden müssen, kann eine Anwendung leicht umgesetzt werden.

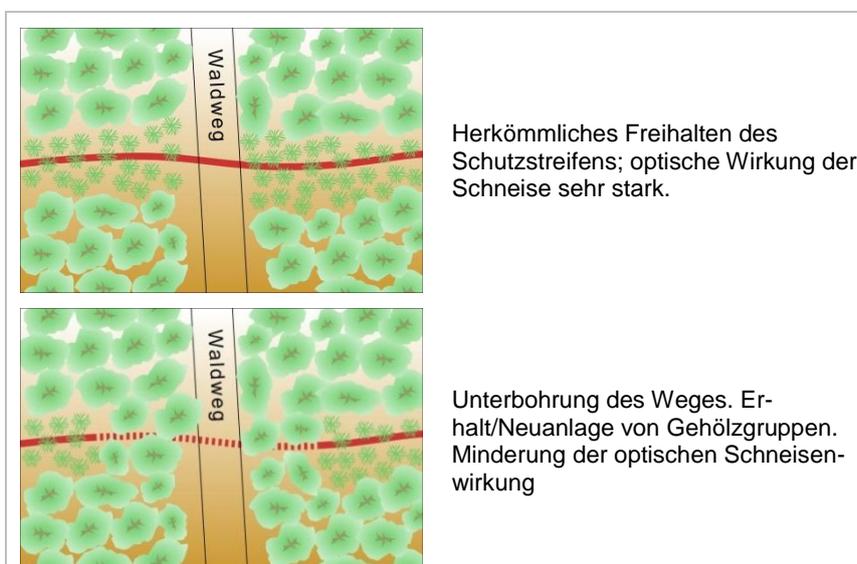


Abbildung 5-4: Möglichkeiten der Umsetzung von Sichtschutzriegeln (schematische Darstellung)

## Gestufte Waldränder

Ohne weitere Maßnahmen ist auch derzeit schon die Entwicklung gestufter Waldränder möglich. Hierfür kann der Arbeitsstreifen genutzt werden, in dem es keine Einschränkung der Entwicklungsoptionen gibt. Verschiedenartige Saumstrukturen und eine Auflichtung des Waldrandes erhöhen die Struktur- und Artenvielfalt und können Barriere- und Zerschneidungseffekte reduzieren. Die Sicherheits- und Freihaltungsanforderungen der Netzbetreiber werden eingehalten.

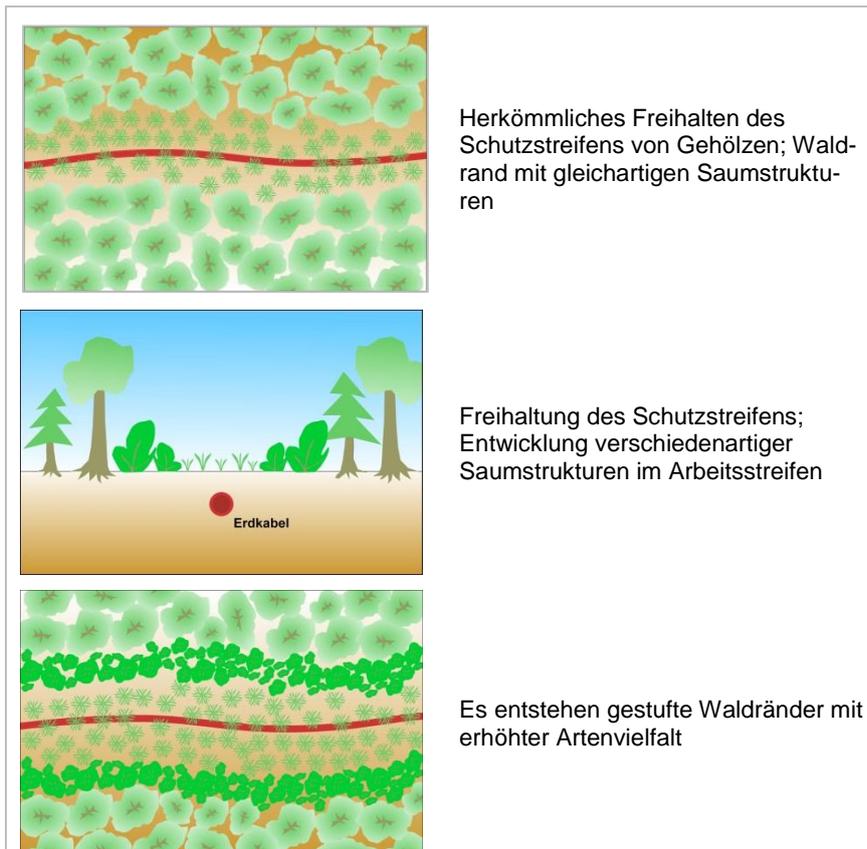


Abbildung 5-5: Möglichkeiten der Umsetzung von gestuften Waldrändern (schematische Darstellung)

### 5.2.4 Hinweise zu Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen

Wenn naturschutzfachlich wertvolle Biotope entwickelt werden sollen, ist ein aktives Pflege-management nötig; ohne ein solches ist das Erreichen der Entwicklungsziele nicht zu erwarten. Die Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen, die auf der Trasse umgesetzt werden, sind durch die Entwicklungsziele bestimmt und müssen im jeweiligen Einzelfall festgelegt werden. Sie werden zudem bestimmt von der Art des Vorhabens, den Schutzvorschriften der Netzbe-

treiber und den vorhandenen Voraussetzungen für ein naturverträgliches Trassenmanagement.

In Kapitel 8.6 im Anhang sind konkrete mögliche Maßnahmen für die Pflege und Entwicklung aufgeführt (nach DVL 2014). Fokus waren hier Freileitungstrassen, ein Teil der Maßnahmen ist aber ebenso auf Erdkabeltrassen umsetzbar. Unabhängig von spezifischen Pflegemaßnahmen, werden nachfolgend allgemeine Hinweise und Empfehlungen zu Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen auf Erdkabeltrassen gegeben.

### **Einfache Pflegemaßnahmen**

Die Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen sollten möglichst einfach und kostengünstig umsetzbar sein, um die Realisierungschancen zu erhöhen. Je großflächiger Maßnahmen umgesetzt werden sollen, desto wirtschaftlicher und effizienter müssen sich diese, unter Berücksichtigung der naturschutzfachlichen Erfordernisse, darstellen. Spezielle Pflegemaßnahmen, die besondere Kenntnisse und Geräte benötigen und zeitintensiv sind, sind dagegen eher einzelfallbezogen umsetzbar.

### **Räumliche und zeitliche Differenzierung**

Um eine Alters- und Strukturdiversität zu erzielen, sollten die Maßnahmen sowohl räumlich als auch zeitlich differenziert erfolgen. Das heißt, dieselbe Maßnahme wird nicht großflächig zur gleichen Zeit umgesetzt, sondern mosaikartig versetzt.

### **Selektive Pflege**

Bei gehölzbetonten Biotopen ist eine selektive Pflege anzuwenden, die je nach Art und Alter der Gehölze unterschiedliche Maßnahmen vorsieht. So kann eine größtmögliche Diversität erreicht und im Schutzstreifen gezielt auf die Sicherheitserfordernisse der Netzbetreiber eingegangen werden.

### **Differenzierung nach Arbeits- und Schutzstreifen**

Aufgrund der Sicherheitsanforderungen im Schutzstreifen kann eine Differenzierung der Entwicklungsziele und -maßnahmen für den Arbeits- und den Schutzstreifen erforderlich sein.

### **Schutz des Kabels bei Bestockung mit Gehölzen**

Soll im Arbeitsstreifen eine Bestockung mit Gehölzen realisiert werden und wurden keine anderen Schutzmaßnahmen wie ein Tieferlegen des Kabels angewandt, so müssen die Pflegemaßnahmen den Schutz des Kabels mit berücksichtigen. Es sollte in diesem Fall eine kontrollierte Wiederbestockung mit flachwurzeln, möglichst schwach- oder langsamwüchsigen Gehölzen erfolgen. Die Trassenpflege sollte darauf ausgerichtet sein, zu große, windwurfanfällige Gehölze oder solche mit Starkwurzeln zu entfernen. Die Betriebssicherheit gefährdende Gehölze sollten dabei selektiv entnommen werden.

### **Verhinderung der Ausbreitung invasiver Arten**

Trassen stellen, je nach Lage und Artenvorkommen im Umfeld, Ausbreitungsräume für invasive Arten dar. Die Bestandsbegründung sollte daher mit einem Monitoring zur Identifizierung

invasiver Arten und ggf. gegensteuernden Pflegemaßnahmen begleitet werden. Dies kann anfangs im Rahmen einer ökologischen Baubegleitung und später in Verbindung mit der Umsetzung der Pflegemaßnahmen erfolgen.

### Selektiver Schneisenhieb bei Anlage der Trasse

Der selektive Schneisenhieb setzt bereits bei der Anlage der Trasse an. Unter Berücksichtigung des festgelegten Pflege- und Entwicklungskonzeptes der Trasse, sollen schon bei der Anlage einzelne Gehölze oder Gehölzgruppen erhalten werden. Dies ist bei Erdkabeltrassen evtl. nur eingeschränkt umsetzbar, sollte dennoch einzelfallbezogen geprüft werden.

### Zielartenmonitoring

Werden Maßnahmen zur Entwicklung spezifischer Biotope (z. B. Magerrasen, Heiden, offene Sandflächen) und Förderung spezieller Arten umgesetzt, sollte begleitend ein Zielartenmonitoring erfolgen. Eventuelle Fehlentwicklungen können so korrigiert werden.

### 5.2.5 Zwischenfazit

Die Umsetzung der Entwicklungsoptionen erfolgt immer im Spannungsfeld zwischen betrieblichen und naturschutzfachlichen Anforderungen. So können Entwicklungsoptionen zwar naturschutzfachlich wünschenswert, aber nur eingeschränkt oder nur unter bestimmten Voraussetzungen zu realisieren sein. Tabelle 5-2 zeigt die Entwicklungsoptionen und die zu ihrer Umsetzung notwendigen technischen oder/und pflegerischen Maßnahmen.

Tabelle 5-2: Entwicklungsoptionen auf Erdkabeltrassen in der Praxis

Entwicklungsoptionen	Realisierung durch Schutzvorschriften eingeschränkt?	Technische Maßnahmen zum Schutz des Kabels	Pflegemaßnahmen zum Schutz des Kabels
Gestufte Waldränder	nein	Nicht notwendig	Nicht notwendig
Gras- und Krautfluren	nein	Nicht notwendig	Nicht notwendig
Spezielle Biotoptypen des Offenlandes	nein	Nicht notwendig	Nicht notwendig
Gehölzriegel auf Teilflächen	ja nein (bei Aussparen des Schutzstreifens)	Tieferlegen des Kabels in den Teilflächen Verwendung von Wurzelschutzrohren	Verwendung schwach- oder langsam wüchsiger, flachwurzelnder Gehölze; selektive Entnahme
Flächenhafte Gehölzbestockung	ja	Tieferlegen des Kabels Verwendung von Wurzelschutzrohren	Verwendung schwach- oder langsam wüchsiger, flachwurzelnder Gehölze; selektive Entnahme

Es wird deutlich, dass unter den gegebenen Sicherheitsvorschriften und ohne zusätzliche Maßnahmen folgende Entwicklungsoptionen umsetzbar sind:

- Gestufte Waldränder (im Arbeitsstreifen)
- Gras- und Krautfluren
- Spezielle Biotoptypen des Offenlandes
- Gehölzriegel auf Teilflächen (im Arbeitsstreifen)

Damit stehen dem bisher häufig praktizierten turnusmäßigen Mulchen der gesamten Trasse Entwicklungsoptionen eines ökologischen Trassenmanagements gegenüber, mit deren Hilfe der Trassenzustand unter den gegebenen Bedingungen optimiert werden kann. Sie sind weder mit Einbußen bei der Betriebssicherheit noch mit einem erhöhten Aufwand durch Tieferlegen des Kabels verbunden.

Andere Entwicklungsoptionen, wie

- Gehölzriegel auf Teilflächen (einschl. Schutzstreifen)
- Flächenhafte Gehölzbestockung (einschl. Schutzstreifen)

können dagegen nur mit zusätzlichem Aufwand umgesetzt werden bzw. sind mit einer Erhöhung des Schadensrisikos für das Kabel oder verminderter Zugänglichkeit verbunden.

Welche der Entwicklungsoptionen im Zuge einer Waldschneise zu bevorzugen ist, muss immer im Einzelfall abgewogen und mit den beteiligten Akteuren abgestimmt werden.

Gleichwohl könnte aus Sicht der Forschungsnehmer die Entwicklung gestufter Waldränder Grundbaustein eines ökologischen Trassenmanagements im Wald werden, soweit dies mit den lokalen Entwicklungszielen vereinbar ist. Hier steht eine naturschutzfachlich hohe Wertigkeit einem vertretbaren Aufwand gegenüber. Gestufte Waldränder können auch kombiniert mit anderen Entwicklungszielen (z.B. Gras- und Krautfluren im Arbeitsstreifen) realisiert werden.

### **5.3 Perspektiven für ein naturverträgliches Trassenmanagement**

Wie eingangs gesagt, sollte jeglicher ökologischer Zusatznutzen, der aus dem Ausbau des Höchstspannungsnetzes generiert werden kann, genutzt werden. Die Nutzung der Trassenflächen zu Entwicklung hochwertiger Biotope wäre ein wichtiger Ansatz. Bei den Freileitungstrassen gibt es bereits positive Entwicklungen in diese Richtung, ein Standard konnte aber bisher nicht etabliert werden. Zudem werden habitat- oder artenspezifische Entwicklungsziele bisher nur im Einzelfall verfolgt. Für Erdkabeltrassen ist das naturverträgliche Trassenmanagement noch Neuland.

### **5.3.1 Erarbeitung einer „guten fachlichen Praxis“ der Trassenpflege**

Im vorliegenden Bericht konnte gezeigt werden, dass es verschiedene Entwicklungsoptionen auf Erdkabeltrassen gibt. Nur ein Teil davon berührt die Sicherheits- und Freihaltungsvorschriften der Netzbetreiber, die anderen könnten unmittelbar zur Anwendung kommen.

Zunächst bedarf es eines weiteren Austauschs über die Entwicklungsoptionen zwischen Naturschutz und Netzbetreibern, der mit dem vorliegenden Projekt bereits begonnen wurde. Insbesondere muss geklärt werden, ob und wie Maßnahmen zur Aufweitung der Entwicklungsoptionen umgesetzt werden können.

Damit eng verbunden sind die offenen Forschungsfragen. Zu vielen Punkten gibt es wenig gesichertes Wissen, z. B. zu den Schadensrisiken für Erdkabel durch Gehölzwurzeln, so dass mit Annahmen und Analogieschlüssen gearbeitet werden muss. Je mehr Wissen hierzu generiert werden kann, desto klarer lassen sich die Entwicklungsoptionen eingrenzen.

Hilfreich wäre zudem die Kommunikation von Best-Practice-Beispielen, die zeigen, wie mit den verschiedenen Interessen umgegangen wird und welche Kompromisse möglich sind.

Darauf aufbauend sollten Vereinbarungen zwischen Netzbetreibern, dem Naturschutz und den Forstverwaltungen über eine „gute fachliche Praxis“ der Trassenpflege erarbeitet werden.

### **5.3.2 Naturverträgliches Trassenmanagement im Planungsverfahren verankern**

Zukünftiges Ziel sollte es sein, Maßnahmen für ein effektives Trassenmanagement bereits im Planfeststellungsverfahren einzubringen und anschließend umzusetzen. Träger öffentlicher Belange, die die Trassen- und Leitungsplanung begleiten, können dabei Leitungsabschnitte identifizieren, bei denen ein naturverträgliches Trassenmanagement sinnvoll wäre. Sofern im Rahmen des Genehmigungsverfahrens rechtliche Vorgaben zur Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen auf der Trasse bestehen, werden diese im Planfeststellungsbeschluss verankert. Ist dies nicht der Fall, könnte gemeinsam mit den beteiligten Akteuren (Abbildung 5-1) ggf. ein freiwilliges Engagement vereinbart werden. Für eine Verankerung im Planungsverfahren ist vor allem ein Wissenstransfer an die Mitarbeiter der Genehmigungsbehörden und die Träger öffentlicher Belange notwendig.

### **5.3.3 Leitfaden zum naturverträglichem Trassenmanagement**

Ein weiterer Schritt wäre die Erarbeitung eines Leitfadens zum naturverträglichem Trassenmanagement auf Erdkabeltrassen, der sich v. a. an Planer, Netzbetreiber, Genehmigungsbehörden und Träger öffentlicher Belange richtet. Ein derartiger Handlungsleitfaden würde die bestehenden Unsicherheiten zu den Anforderungen und Möglichkeiten eines naturverträglichem Trassenmanagements aufheben und den Akteuren eine Richtlinie geben. Die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt bieten eine erste Basis dafür. Der Leitfaden sollte unter Einbeziehung der verschiedenen Akteure erarbeitet werden.

## **Fazit**

Es bestehen verschiedene naturschutzfachliche Entwicklungsoptionen für Erdkabeltrassen in Wäldern, die über die heutige Praxis hinausgehen. Diese können zum Teil ohne besondere Vorkehrungen umgesetzt werden, zum Teil sind spezielle technische und pflegerische Maßnahmen notwendig.

Durch Klärung der Forschungsfragen, dem Wissenstransfer und der gemeinsamen Erarbeitung von Leitlinien könnte die Umsetzung eines naturschutzfachlichen Trassenmanagements auf Erdkabeltrassen erreicht werden. Gleichwohl ist zu beachten, dass stets die in Kapitel 5.1 genannten Voraussetzungen gegeben sein müssen, bevor ein solches Trassenmanagement in der Praxis umgesetzt werden kann. Insbesondere andere Nutzungsinteressen auf der Trasse und eine fehlende Finanzierung von Pflegemaßnahmen können die Umsetzung behindern.

## **6 Forschungs- und Entwicklungsbedarf**

### **6.1 Begleitung der Planung und Umsetzung von Erdkabelprojekten**

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass sich die rechtlichen Voraussetzungen, die technischen Möglichkeiten sowie die Planungspraxis dynamisch entwickeln. Die Erprobung der HöS-Erdkabeltechnologie sollte daher durch eine ökologische Begleitforschung flankiert werden, damit die Wirkungsbeurteilung für den Vorhabentyp „Höchstspannungs-Erdkabel“, die darauf aufbauende Trassenplanung sowie die Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Beeinträchtigungen entsprechend angepasst werden können. Dazu sollte regelmäßig ein Austausch zum Stand der Erkenntnisse stattfinden.

Zum Schutz vor Bodenverdichtungen haben sich Befahrensregelungen mit Festlegungen zu Fahrzeuggewicht und –bereifung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und Schwellenwerten für ein Befahrungsverbot bewährt (vgl. LBEG 2014; LLUR 2014). Entsprechende Regelungen für „Linien-Tiefbauprojekte“ sollten bundesweit bzw. auch für andere Naturräume als das norddeutsche Tiefland entwickelt und angewandt werden.

### **6.2 Vertiefung des Wissens zu Umweltauswirkungen**

Die zentralen Wirkfaktoren von Erdkabelvorhaben und ihre planungsrechtlich relevanten Auswirkungen auf die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege sind weitgehend bekannt. Die Bearbeitung des Projektes hat aber gezeigt, dass es hinsichtlich der Prognose einzelner Wirkungen noch Unsicherheiten gibt. Diese Unsicherheiten betreffen insbesondere die Zerschneidungswirkungen von Erdkabeltrassen im Wald und evtl. Auswirkungen betriebsbedingter Wärmeemissionen.

Folgende Forschungsfragen haben sich herauskristallisiert:

#### **6.2.1 Effekte der Bodenerwärmung auf die natürlichen Bodenfunktionen**

Durch den Betrieb der Erdkabel kommt es nach bisherigen Erkenntnissen zu einer mäßigen Erwärmung des Bodens. Im Regelfall werden die natürlichen Tages- und Jahres-Temperaturganglinien dabei jedoch nicht überschritten.

Diese Erkenntnisse beruhen auf den Ergebnissen zweier Feldversuche im Auftrag von Amprion (Freiburg, Osterath). Zur Verbesserung der Datenbasis und der Prognosemöglichkeiten sollte bei der Umsetzung zukünftiger Erdkabelvorhaben ein vertikales Temperaturmonitoring durchgeführt werden (Temperatur- und Bodenfeuchtemessungen, Entwicklung des Humusgehalts, Effekte auf das Bodenleben, u. a. die Regenwurmpopulation). Am Standort Raesfeld ist dies seitens Amprion bereits vorgesehen. Um die Erkenntnisse verallgemeinern zu können, sollte das Monitoring bei Projekten in unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (v. a. Niederschlagsmengen) und unterschiedlichen Bodenverhältnissen durchgeführt werden. Ebenso sollten verschiedene Auslastungszustände des HöS-Erdkabels abgebildet werden. Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist ein einheitliches Untersuchungsdesign zu verwenden. Die Ergebnisse des Monitorings könnten im Rahmen eines Projektes zur Ökologischen Begleitforschung zusammengeführt werden. Aus Sicht des Naturschutzes wä-

re eine Kooperation mit den Netzbetreibern wünschenswert; auch eine Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Forschungsinstituten bietet sich an.

Sobald weitere Untersuchungsergebnisse vorliegen, wäre zu beurteilen, ob sich aus der lokalen betriebsbedingten Bodenerwärmung ggf. planungs- und genehmigungsrechtlich relevante Aspekte ergeben (Erfüllung von Verbotstatbeständen; Veränderung der Standortvoraussetzungen für geschützte bzw. gefährdete Arten).

### **6.2.2 Effekte der Bodenerwärmung auf das Bodenleben**

Das Bodenleben hat ein Optimum im Temperaturbereich zwischen 5 und 25°C. Innerhalb dieses Temperaturbereiches kann eine Erwärmung die Aktivitäts- und Vermehrungsrate der bodenlebenden Organismen positiv beeinflussen, allerdings laufen auch mikrobielle Prozesse schneller ab.

Um die Wirkungsprognose zu untersetzen, wäre zu untersuchen, ob im Erdkabelbetrieb temporäre stärkere lokale Erwärmungen der Kabelumgebung auf > 25°C das Bodenleben negativ beeinflussen. So könnte z. B. die Individuendichte der Makrofauna (z. B. Regenwürmer) durch Abwanderung/ Vergrämung (zeitweise) vermindert sein.

Eine solche Untersuchung ist im Rahmen des Monitorings beim Erdkabelprojekt Raesfeld (Amprion) vorgesehen. Sobald erste Ergebnisse vorliegen, sollte entschieden werden, ob hier ein vertiefender Forschungsbedarf gesehen wird.

### **6.2.3 Zerschneidungseffekte durch Schneisen**

Je breiter eine Schneise im Wald ist, desto stärker verändert sich das ursprüngliche Waldinnenklima hin zu einem „Offenlandklima“. Es stellen sich infolge der höheren Einstrahlung andere Habitatstrukturen ein, als in den angrenzenden Waldbereichen. Durch das veränderte Mikroklima (Trockenheit, Wärme; ggf. Nährstofffreisetzung) können Waldschneisen potenziell ein Barriererisiko für den Populationsaustausch entfalten. Wie hoch das Barriererisiko ist, hängt von mehreren Faktoren, wie der Schneisenbreite, den Habitatstrukturen, der Anordnung und Ausdehnung der „Spiegelflächen“ sowie der Mobilität und Stenotopie<sup>95</sup> der vorkommenden Arten ab. Die Barrierewirkung von Erdkabelschneisen wurde bisher nicht systematisch untersucht und weder für Tier- noch für Pflanzenarten im Einzelnen empirisch belegt.

Um das Wirkungswissen über Zerschneidungseffekte zu verbessern, sollte der Barriereeffekt von Schneisen verschiedener Breite (z. B. 10/20/30 m) systematisch untersucht werden. Bei den Arten sollte ein Fokus auf bodenlebende stenotope Waldarten (z. B. Käfer, Spinnen, Mollusken) gelegt werden, da diese potenziell besonders empfindlich gegenüber Zerschneidung sind. Derartige Untersuchungen können auch an bestehenden Schneisen für Erdgas-

---

<sup>95</sup> Als stenotop werden Organismen bezeichnet, die eine enge Verbreitung haben, d. h. in nur wenigen, sehr ähnlichen Biotopen vorkommen. Waldlebende Arten haben i. d. R. spezifische Anforderungen an bestimmte Standortfaktoren (hier: Temperatur, Feuchte) und sind daher stenotop bzw. bezogen auf diese Faktoren, stenök.

leitungen durchgeführt werden. Hieraus können Schlussfolgerungen für die Bewertung der arten- und gebietsschutzrechtlichen Relevanz der anlagebedingten Auswirkungen sowie zu wirksamen Vermeidungs- und Minimierungsmaßnahmen gezogen werden. Eine Kooperation des Naturschutzes mit Strom- und Gasnetzbetreibern im Rahmen der Ökologischen Begleitforschung wäre wünschenswert.

Weiterhin sollte der Beitrag überschirmender Gehölzstrukturen zur Minderung bzw. zum Ausgleich etwaiger Barrierewirkungen im Rahmen von Feldstudien näher untersucht werden. Dadurch könnte die Ausgleichswirkung für Barriereeffekte und Fragmentierung sicherer beurteilt werden.

### **6.3 Fachkonvention über Standards und Maßstäbe der Bewertung**

Insbesondere im europäischen Vergleich hat sich gezeigt, dass die Erheblichkeit bestimmter Auswirkungen von Erdkabeltrassen unterschiedlich bewertet werden. In den Fällen, in denen das Erdkabel zur Konfliktminderung eingesetzt und als Verminderungsmaßnahme betrachtet wird (z. B. in den Niederlanden), wurden alle Auswirkungen des Erdkabelbaus per se gering eingeschätzt. Mögliche baubedingte Umweltauswirkungen und Risiken durch Wärmeemissionen wurden nicht explizit thematisiert. Dies ist u. a. mit der jeweiligen nationalen Rechtslage sowie Planungs- und Genehmigungspraxis begründet.

Ein europaweiter Austausch der Netzbetreiber, Umwelt- und Naturschutzbehörden und Gutachter über Maßstäbe und Standards zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Erdkabeln (und Freileitungen), über den vorhandenen Umfang hinaus, wäre wünschenswert. Dabei könnte besonders der Austausch über die Bewertung von Umweltwirkungen vor dem Hintergrund der unterschiedlichen, nationalen Rechtsvorgaben einen Beitrag zur Schaffung einheitlicher Vorgaben leisten.

### **6.4 Erforschung der Schadensrisiken von Gehölzwurzeln für HöS-Erdkabel**

Um das Schadensrisiko von Gehölzwurzeln für Erdkabel besser einschätzen zu können, sind weitere Forschungen notwendig.

Derzeit werden verschiedene Gefährdungen diskutiert, die Gehölzwurzeln für den Betrieb von Erdkabeln darstellen (mechanische Schäden durch Druck- und Zuglasten). Die Gefährdungsannahmen beruhen weitgehend auf Analogieschlüssen; konkrete Schadensfälle liegen aufgrund der Verhinderung von Gehölzaufwuchs im Schutzstreifen von Trassen nicht vor. Ebenso wurden bisher keine systematischen Untersuchungen zur Interaktion zwischen HöS-Erdkabeln und Gehölzwurzeln durchgeführt. Unklar ist, welche Schadensformen wie häufig unter welchen Bedingungen auftreten. Dies ist von Bedeutung, um das Schadensrisiko von Gehölzen für Erdkabel besser bewerten zu können und differenzierte Lösungsansätze für die Trassengestaltung und die etwaige Bestockung mit Gehölzen zu erarbeiten. Es sollten daher systematische Untersuchungen und Dokumentationen der genannten Gefährdungen erfolgen.

Folgende Forschungsthemen haben sich herauskristallisiert:

### **Untersuchung der Schadwirkung von Wurzeln**

Für eine differenzierte Prognose potenzieller Schadefekte sollte in einem Langzeitversuch eine Versuchspflanzung über einer Kabelanlage angelegt werden. Die Versuchspflanzung sollte eine Auswahl heimischer Kleinbaum- und Straucharten umfassen. In Zeitabständen von mehreren Jahren sollte das Wurzelwachstum (Wurzelform, Wurzeltiefe, Stärke der Wurzeln, differenziert nach der Tiefe; Festigkeit bzw. Verholungsgrad; Einwachsungen) kontrolliert und mögliche Schadspuren ermittelt werden. Die Untersuchungen sollten sowohl bei erdverlegten als auch bei in Leerrohren verlegten Kabeln erfolgen, um eventuelle Unterschiede des Schadenspotenzials zu ermitteln.

Die Auswertung kann Aufschluss über das Schadenspotenzial von Wurzeln bestimmter Gehölzarten geben. Darauf aufbauend ist es ggf. möglich, eine Liste von Gehölzarten zu erarbeiten, deren Nutzung im Bereich von HöS-Kabeln möglich ist.

Um den Einfluss der Standortbedingungen mit abzubilden, müssen Versuchspflanzungen an verschiedenen Standorten erfolgen.

Zum Nachweis, dass die Betriebssicherheit durch Sträucher und Kleinbaumarten nicht gefährdet wird, sollten Langzeit-Versuchspflanzungen mit niedrig bleibenden Arten auf Trassenabschnitten von z. B. Kraftwerksanbindungen angelegt werden. Bei solchen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen besteht im Fehlerfall eine geringere Betroffenheit der Verbraucher.

### **Erfassung der Starkwurzeltiefe von Gehölzen**

Wie bereits dargelegt, greift die Bewertung des Schadensrisikos allein nach der Wurzeltiefe zu kurz, da das Schadensrisiko nicht von allen Wurzeln, sondern nur von den Starkwurzeln ausgeht. Es wäre daher wünschenswert und hilfreich, wenn die Wurzeltiefe der gebietseigenen Gehölzarten speziell für das Vorkommen von Starkwurzeln erfasst werden würde. Mit Hilfe dieser Daten könnte das Schadensrisiko besser bewertet werden.

### **Wurzelverhalten in Erdkabelnähe**

Die Höhe des Schadenspotenzials ist auch davon abhängig, wie sich Wurzeln in Erdkabelnähe verhalten. Die vom Erdkabel ausgehenden Wärmeemissionen können ab etwa 40 °C zu Degenerationsprozessen und einer geringeren Wurzelaktivität führen. Dies hätte zur Folge, dass Wurzeln die Nähe von Erdkabeln meiden bzw. ihr Wachstum hier gemindert ist. Fraglich ist, wie wahrscheinlich dann ein Umwachsen des Kabels oder „Druckstempel“ auf dem Kabel sind. Für eine differenzierte Prognose sollten hier Langzeitexperimente stattfinden, bei der das Wurzelwachstum in der Nähe einer Wärmequelle beobachtet wird.

### **Flüssigboden als Wurzelschutz**

Flüssigboden soll primär die Ableitung der durch den Kabelbetrieb erzeugten Wärme und die Fixierung des Kabels gewährleisten. Seine Zusammensetzung wird dieser Funktion entsprechend festgelegt. Gleichzeitig wird darauf geachtet, dass der Flüssigboden keine starke Barrierewirkung entfaltet und die natürlichen Eigenschaften des ursprünglichen Bodens (z. B. Durchwurzelbarkeit) weitgehend erhalten werden.

Es sollte in Experimenten geprüft werden, ob Poreneigenschaften und Lagerungsdichte von Flüssigboden derart gewählt werden können, dass das Kabel durch den Flüssigboden vor Wurzeleinwachsungen geschützt ist und sich zugleich die Wärmeleitfähigkeitsanforderungen gewährleisten lassen.

## **6.5 Einstufung schützenswerter Waldtypen**

Bisher wurden Höchstspannungserdkabel in Waldschneisen weder geplant noch gebaut, auch weil der Realisierungsaufwand hoch ist und ggf. Alternativen (Freileitung, Umgehung) zur Verfügung stehen. Angesichts des Erdkabelvorrangs bei drei Langstrecken-Gleichstromverbindungen, kann es zukünftig vor allem im Mittelgebirgsraum zu unvermeidbaren Querungen von Waldgebieten kommen.

Bei der Ermittlung von Korridoren für eine HöS-Leitung im Rahmen der Bundesfachplanung, wird Waldflächen ohne spezifischen Schutzstatus oder Schutzfunktion nach dem Musterantrag der Übertragungsnetzbetreiber<sup>96</sup> die Raumwiderstandsklasse II (hoch)<sup>97</sup> zugeordnet. Stärkere Restriktionskriterien für Wälder werden aus dem Schutzstatus des Gebietes (u. a. Nationalpark, NSG, Naturwaldreservate-Programm, Bannwald) sowie aus bestimmten Waldfunktionen (Bodenschutzfunktion; Erholungsfunktion) abgeleitet. Weiterführende Kriterien zur Bewertung von Wäldern über die Schutzgebietskategorien hinaus fehlen derzeit auf der Bundesfachplanungsebene. Wälder werden derzeit z. B. nicht nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber Zerschneidung bewertet. Hier besteht weiterer Forschungs- und Vereinheitlichungsbedarf. Die nach Anhang I der FFH-Richtlinie sowie die nach § 30 BNatSchG gesetzlich geschützten Waldbiotope sollten hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber Zerschneidung (Barriererisiko) und Fragmentierung durch Erdkabeltrassen bewertet werden. Die Bewertungen können in die zweite Phase der BFP (Unterlagen nach § 8 NABEG) Eingang finden, in der eine differenziertere Betrachtung der Waldbestände erfolgt. Sie untersetzen zudem die Entscheidung, wann eine Umgehung/ Unterbohrung von Waldgebieten geboten ist und in welchen Fällen eine Überspannung mit einer Freileitung (Ausnahme vom Erdkabelvorrang) in Frage kommt, sowie die Festlegung von Vermeidungs- und Entwicklungszielen in Waldschneisen.

## **6.6 Einbindung technischer Anlagen in die Landschaft durch Gestaltung**

Erdkabel vermeiden visuelle Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes, wie sie bei Freileitungen entstehen. Lediglich die an den Kabelenden erforderlichen Kabelübergabeanlagen (KÜA) oder Konverter sind oberirdisch sichtbar und verändern das Landschafts- bzw. Ortsbild.

---

<sup>96</sup> BNETZA (2016): Musterantrag nach § 6 NABEG, Teil 1: Grob- und Trassenkorridorfindung; Stand 31.07.2015; Fassung: 9.0.2. Für die großen HGÜ-Verbindungen mit Erdkabelvorrang wird die Methodik überarbeitet.

<sup>97</sup> Im Musterantrag werden die Raumwiderstandsklassen sehr hoch, hoch, mittel und „nicht qualifizierbar“ unterschieden.

Wie am Beispiel des Erdkabel-Projektes Randstad in Holland und auch in Dänemark zu sehen, können solche Bauwerke derart gestaltet werden, dass sie sich in die Umgebung einfügen oder bewusst Landmarken darstellen. Solche unter landschaftsästhetischen Gesichtspunkten entwickelten Gestaltungskonzepte könnten zukünftig vermehrt zur Anwendung kommen. Um an konkreten Standorten die Entwicklung und Umsetzung von gestalterischen Maßnahmen zu forcieren und erste „Best-Practice-Beispiele“ zu erhalten, könnte ein Gestaltungswettbewerb ausgeschrieben werden. Überdies wäre (nach holländischem, dänischem oder belgischem Vorbild) eine landschaftsarchitektonische Projektbegleitung wünschenswert.

## **6.7 Fazit**

Um einzelne Auswirkungen einer Erdverkabelung auf Natur und Landschaft zukünftig noch besser beurteilen zu können, sollten verschiedene Forschungsmaßnahmen umgesetzt werden. Insbesondere seien hier Forschungen zu den Auswirkungen betriebsbedingter Wärmeemissionen auf die natürlichen Bodenfunktionen (Stichwort Humuszehrung) und auf das Bodenleben zu nennen. Auch das Wirkungswissen über die Barrierewirkung von Waldschneisen insbesondere auf bodenlebende stenotope Waldarten sollte durch systematische Untersuchungen ergänzt werden.

Für einen europaweiten Austausch über die national unterschiedlichen naturschutzfachlichen Bewertungen zu Auswirkungen von Eingriffen sind Fachforen anzustreben. Derzeit werden die Bewertungen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Rechtssysteme verschieden gehandhabt. Hierzu könnten evtl. Konventionen für gewisse Grundstandards abgeleitet werden.

Um das Schadensrisiko von Wurzeln für Erdkabel besser einschätzen zu können, empfehlen die Forschungsnehmer, Langzeituntersuchungen an einer Versuchspflanzung über einer Erdkabelanlage vorzunehmen. Hier kann im Praxistest untersucht werden, welche Interaktionen zwischen Kabel und Wurzeln tatsächlich gegeben sind und wie hoch das Schadensrisiko einzelner Arten einzuschätzen ist.

Um die Empfindlichkeit von Wäldern gegenüber Zerschneidung (Barrierewirkung) und Fragmentierung durch Erdkabeltrassen auf Ebene der Bundesfachplanung adäquat bewerten zu können, sind über den Schutzstatus und vorhandene Waldfunktionen hinaus weiterführende Kriterien aufzustellen. Dies erleichtert die Bewertung von Korridoralternativen und verschiedenen technischen Ausführungsvarianten (z.B. Unterbohrung, Überspannung mit Freileitung).

## 7 Quellen

### 7.1 Literatur

- 50Hertz Transmission GmbH; Fachhochschule Erfurt; IBU Ingenieurbüro Schöneiche GmbH & Co. KG (2010): Ökologisches Schneisenmanagement. Studie für die Kommission der Europäischen Gemeinschaft. Berlin.
- 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH/Hrsg. (2015): Antrag auf Bundesfachplanung – Musterantrag nach § 6 NABEG Teil1: Grob- und Trassenkorridorfindung. Fassung 9.0.2. Stand: 31.07.2015
- Aberle, S. u. Partl, E. (2005): Nachhaltiges Trassenmanagement. Unter Mitarbeit von Essl, F.; Hochbichler, E.; Reimoser, F.; Wrbka, T. Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Verbundgesellschaft/ Hrsg. Schriftenreihe Forschung im Verbund, Band 91.
- Addo-Danso, S. et al. (2016): Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: A review. In: Forest Ecology and Management, Volume 359, S. 332-351
- Amler, K.; Bahl, A., Henle, K., Kaule, G., P. Poschlod, P; Settele, J. (1999) Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis. Isolation, Flächenbedarf und Biotopansprüche von Pflanzen und Tieren. Ulmer, Stuttgart.
- Amprion (2011): Neubau der 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 / Neubau des 380-kV-Höchstspannungskabels KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230. Erläuterungsbericht.
- Argaut, P. u. Mikkelsen, S. (2003): New 400 kV Underground Cable System Project in Jutland (Denmark). In JICABLE ; NO 6 2003, 6; A.4.3.; International conference on insulated power cables; JICABLE 03; 6eme Conference internationale sur les cables d'energie isoles by Jicable, Paris; 2003
- Baier, H.; Erdmann, F.; Holz, R.; Waterstraat, A. / Hrsg. (2006): Freiraum und Naturschutz. Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft. Berlin - Heidelberg - New York: 692 S
- Bak, C. L. u. Sogaard, K. (2008): Single-phase AutoReClosure ARC failure on 400 kV combined cable/ overhead line with permanently connected shunt reactor. Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (Power '08). In: WSEAS Transactions on Electronics , 2008, S. 118-127.
- Balder, H., 1998: Die Wurzeln der Stadtbäume. Parey Verlag, Berlin
- Bayer, H.-J. (2008): Verfahren für die grabenlose Verlegung und den grabenlosen Austausch von Rohren und Kabeln. In: Tiefbau (2), S. 78-89.
- Bayer, H.-J. (2011): Erdkabel aufwändiger als Freileitungen? In: BauPortal (8), S. 31-35.
- Bennerscheidt, C. et al. (2011): Abschlussbericht – Umweltsicherer Kanalbau durch wurzelfeste Bettung der Rohre – Teil 1, IKT Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen.

- BfN | Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2009): Anpflanzung von Gehölzen gebietseigener Herkünfte in der freien Landschaft – rechtliche und fachliche Aspekte der Vergabepaxis. Bearbeiter: Frenz, W.; Hellenbroich, T.; Seitz, B.. BfN-Skripten H. 262.
- Blume, H. P.; Horn, R.; Thiele-Bruhn, S./Hrsg. (2011): Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und –belastung/Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Vierte, vollständig überarbeitete Aufl., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim.
- BNetzA | Bundesnetzagentur (2015): Bedarfsermittlung 2024. Umweltbericht; Strategische Umweltprüfung auf Grundlage des 2. Entwurfs des NEP Strom und O-NEP(Zieljahr 2024). September 2015. Online unter [http://data.netzausbau.de/2024/UB/Umweltbericht\\_2024.pdf](http://data.netzausbau.de/2024/UB/Umweltbericht_2024.pdf). Abruf 07.12.2015.
- BNetzA (2016): Bundesfachplanung für Gleichstrom-Vorhaben mit gesetzlichem Erdkabelvorrang. Positionspapier der Bundesnetzagentur für Anträge nach § 6 NABEG vom 22.02.2016. Online verfügbar unter: [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjU h\\_axw6\\_PAhUDUBQKHf\\_NAZkQFggIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.netzausbau.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2F2016%2FPositionspapier\\_Erdkabel-Metho-dik.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile&usq=AFQjCNGSiXjF8z2aDya0IXxTtdc0AEfYug&cad=rja](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjU h_axw6_PAhUDUBQKHf_NAZkQFggIMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.netzausbau.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2F2016%2FPositionspapier_Erdkabel-Metho-dik.pdf%3F__blob%3DpublicationFile&usq=AFQjCNGSiXjF8z2aDya0IXxTtdc0AEfYug&cad=rja). Abruf 27.09.2016.
- Böhm, W. (1979): Methods of Studying Root Systems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- Böhme, M. u. Böttcher, F. (2011): Bodentemperaturen im Klimawandel – Auswertungen der Messreihe der Säkularstation Potsdam. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2011. Offenbach. S. 85-90.
- Bolkenius, D. (2001): Zur Wurzelausbildung von Fichte und Weißtanne in gleich- und ungleichaltrigen Beständen. In: Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 35, Freiburg
- Borchardt, N. (2008): Beschreibung des HDD-Verfahrens als geschlossene Bauweise für Abwasserkanäle besonders hinsichtlich des ökologischen und ökonomischen Vergleichs zur Bauweise des offenen Grabens. Diplomarbeit an der Hochschule Neubrandenburg. 69 S.
- Bosseler, B. et al. (2010): Functions of bedding and filling materials, IKT Institut für unterirdische Infrastruktur
- Bosseler, B.; Stützel, T. (2011): Geeignete Baumstandorte für Kanäle und Leitungen, wat + Wasser Berlin International 05/2011.
- Brakelmann, H. (2009): Begutachtung der NOK-Studie: Umbau 220-kV-Leitung Beznau-Birr auf 380/220 kV, Teilverkabelung Riniken. Auftraggeber: Gemeindeverwaltung Riniken, Schweiz. Online verfügbar unter: <http://www.htst.ch/Doc/Gutachten%20Verkabelung%20Prof.%20Brakelmann.pdf>, Abruf 27.09.2016.
- Brakelmann, H. (2012): Bericht zum Projekt Raesfeld. Prognoserechnungen für Leitertemperaturen und Temperaturen des Kabelschutzrohrs des wärmsten Kabels. Im Auftrag der ERM GmbH.

- Brakelmann, H. u. Ghadheri, S. (2014): Zwischenverkabelung der 380/132/65-kV-Leitungsverbindung Mörel – Ulrichen Machbarkeitsstudie. Gutachten im Auftrag der Swissgrid AG Laufenberg. Rheinberg/Bochum, 173 S.
- Brüggmann, J.; Jungnitz, L.; Uther, D. (2015): Heat dissipation of high voltage cable systems – a technical and agricultural study. Beitrag zur "9th International Conference on Insulated Power Cables - Jicable'15. 21.-25.06.2015 in Versailles. 6 S.
- Bruns, E. (2015): Auswirkungen zukünftiger Netzinfrastrukturen und Energiespeicher in Deutschland und Europa. Teilbericht 2: Übertragungs- und Ertüchtigungstechnologien, Einsatzbereiche, Flexibilitäten und Wirkfaktoren. In Zusammenarbeit S. Garske, L. Hofmann und D. Kraetzschmer. FKZ 512 83 0100. Stand Februar 2015.
- Bruns, E.; Kraetzschmer, D.; Sicard, J. C. (2015): Auswirkungen zukünftiger Netzinfrastrukturen und Energiespeicher in Deutschland und Europa. TB 6: Raumbezogene Analyse von Auswirkungen anhand von Ausführungsvarianten in ausgewählten Fallbeispielregionen. F+E-Vorhaben FKZ 512 83 0100 im Auftrag des BfN (Bundesamt für Naturschutz). Unter Mitarbeit von S. Garske. (Internetveröffentlichung in Vorbereitung).
- BT-Drucksache 17/11871: Bericht nach § 3 des Energieleitungsausbaugesetzes (EnLAG). Unterrichtung durch die Bundesregierung vom 07.12.2012.
- BT-Drucksache 18/4655: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus vom 20.04.2015.
- BT-Drucksache 18/5581: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Stellungnahme des Bundesrates und Gegenäußerung der Bundesregierung (zu Drucksache 18/4655) vom 16.07.2015
- BT-Drucksache 18/6909: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wirtschaft und Energie vom 02.12.2015.
- Bundesgericht (2011): Teilverkabelung der Hochspannungsleitung in der Gemeinde Riniken. Urteil vom 5. April 2011 (1C\_398/2010). Medienmitteilung des Bundesgerichts. Online unter [http://www.bger.ch/mm\\_1c\\_398\\_2010\\_d.pdf](http://www.bger.ch/mm_1c_398_2010_d.pdf), Abruf 27.09.2016.
- Büschel, K. (2013): DVGW-Merkblatt GW 125 „Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle“ ersetzt den früheren Hinweis von 1989. In: energie | wasser-praxis 3/2013, S. 54-55.
- BVerwG 7 A 4.12 Urteil vom 18.07.2013 zur Thüringer Strombrücke, 2. Abschnitt.
- Coch, T; Uther, D. (1994): Biotopmanagement in walddurchquerenden Trassen von Hochspannungsleitungen. Zwischen technischen naturschutzfachlichen und landschaftsästhetischen Anliegen. Naturschutz und Landschaftsplanung 26 (3), S. 89-93.
- Coutts, M. P. (1989): Factors affecting the direction of growth of tree roots. Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences, 46 (Suppl), S.277-287.
- DCA| Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V./Hrsg. (2000): Horizontal Directional Drilling. Technische Richtlinien des DCA. Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten. 2. Aufl., Aachen.
- de Kroon, H.; Visser, E. (Hrsg.) (2003): Root Ecology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

- dena | Deutsche Energieagentur (2010): dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick auf 2025.
- dena | Deutsche Energieagentur (2012): Übersicht neuer Stromübertragungstechnologien auf der Höchstspannungsebene.
- Deutsche Ferngasleitungsnetzbetreiber (2014): Netzentwicklungsplan Gas. Online unter [http://www.fnb-gas.de/files/2015-01-28\\_nep\\_gas\\_2014.pdf](http://www.fnb-gas.de/files/2015-01-28_nep_gas_2014.pdf). Abruf 27.09.2016.
- Diburg, B.; Bennerscheidt, C. (2012): Verwurzelung – Ursachen, Sanierung, Vorkehrungen, ÖWAV-Kan-Sprechertagung 2012, Vortragsfolien. Online unter: <http://www.kan.at/Kontext/WebService/SecureFileAccess.aspx?fileguid=%7B7efaf8b3-17af-48fb-81d6-b6a7501fbe03%7D> (Zugriff 27.09.2016)
- Dietrich, J.; Brakelmann, H.; May, H.-P. et al. (2009): Verbesserte Stromtragfähigkeit – Hochwärmeleitfähiger Spezialbeton für den Kabelgraben. In: Elektrizitätswirtschaft, ew, Heft 14-15, S. 66-72.
- DJV | Deutscher Jagdschutz-Verband) (2007): Verbände-Vorhaben „Überwindung von Barrieren“, Abschlussbericht, Stand Dezember 2007. Online verfügbar unter: [https://www.jagdverband.de/sites/default/files/abschlussbericht\\_2008gruenbruecken\\_0.pdf](https://www.jagdverband.de/sites/default/files/abschlussbericht_2008gruenbruecken_0.pdf); Abruf am 27.09.2016.
- Drobnik, J.; Finck, P.; Riecken, U. (2013): Die Bedeutung von Korridoren im Hinblick auf die Umsetzung des länderübergreifenden Biotopverbunds in Deutschland. BfN-Skripten 346, 2013.
- DVGW G-463: Arbeitsblatt Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Betriebsdruck > 16 bar. Technische Regel. Stand 2001. DVGW Bonn.
- DVGW GW-125: Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle. Stand Februar 2013. DVGW Bonn.
- DVL | Deutscher Verband für Landschaftspflege (2014): Lebensraum unter Strom - Trassen ökologisch managen. DVL-Schriftenreihe "Landschaft als Lebensraum", Heft 21.
- E.on u. Gasunie (2010): Ersatzneubau und Rückbau des Bestandsdükers in der Elbe bei Fahrrinnen-km 648,9. Allgemein verständliche Zusammenfassung der Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren.
- EFZN/Oecos (2012): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen. Bericht der Arbeitsgruppe Umwelt. Bearbeitung: Karsten Runge, Thomas Wachter, Philipp Meister und Elena Rottgardt. In: EFZN | Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (2012): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen Band 2, 154 Seiten. Online unter [http://www.gbv.de/dms/clausthal/E\\_BOOKS/2012/2012EB137.pdf](http://www.gbv.de/dms/clausthal/E_BOOKS/2012/2012EB137.pdf). Abruf 30.01.2016.
- Eggenberg, S. u. Stöcklin, J. (2003): Flora und Fauna der Trockenwiesen. Abstracts der 9. Basler Botanik-Tagung 2003. In: BAUHINIA 17 (2003), S. 51-72. Online verfügbar unter: [https://botges.unibas.ch/pdf/bauhinia17\(2003\)51-72.pdf](https://botges.unibas.ch/pdf/bauhinia17(2003)51-72.pdf); Abruf am 03.12.2015.
- ENTSO-E (2013): Experiences of Transmission. Cable Performances (2006-2012). - V2.0 . Bearb.: Matthias Wilhelm (50Hertz), Kim Kongstad (energinet.dk), Luca Guizzo (TERNA), Kees Jansen (TenneT NL). 18 December 2013.

- ENTSO-E u. Europacable (2010): Joint paper: Feasibility and technical aspects of partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines. Brussels, December 2010.
- Feldwisch, N. (2015): Bodenkundliche Baubegleitung – Bodenschutz beim Trassenbau. In: Springer Fachmedien Wiesbaden (Hrsg.): Bodenschutz und Energiewende . S. 17-25.
- Fest, P.; Operhalsky, B. (2014): Der deutsche Netzausbau zwischen Energiewende und europäischem Energieinfrastrukturrecht. In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ) 2014, Heft 18, S. 1190-1196.
- Franke, J. (13.02.2014): Leitungsbau und sulfatsaure Böden. Vortrag im Rahmen der NNA-Veranstaltung „Bodenschutz im Spannungsfeld von Umwelt- und Naturschutz – Bodenkundliche Baubegleitung II“. Online verfügbar.
- Fricke (2013a): Thermische und elektrotechnische Untersuchungen zur Auslegung einer 380-kV-Kabelverbindung mit Horizontalbohrungs-Abschnitten. Gutachten zur 380/110-kV-Leitung Altenfeld – Redwitz als Teil des Projekts „Südwest-Kuppelleitung“ vom 28.03.2013. Online unter [https://www.regierung.oberfranken.bayern.de/imperia/md/content/regofr/umwelt/energie/planfeststellung/ear/21\\_01\\_05\\_thermische\\_elektrische\\_untersuchung.pdf](https://www.regierung.oberfranken.bayern.de/imperia/md/content/regofr/umwelt/energie/planfeststellung/ear/21_01_05_thermische_elektrische_untersuchung.pdf). Abruf 27.09.2016.
- Fricke (2013b): Erweiterte thermische und elektrotechnische Untersuchungen zur Auslegung einer 380-kV-Kabelverbindung mit Horizontalbohrungs-Abschnitten. Gutachten zur 380/110-kV-Leitung Altenfeld – Redwitz als Teil des Projekts „Südwest-Kuppelleitung“ vom 22.05.2013. Online unter: [https://www.regierung.oberfranken.bayern.de/imperia/md/content/regofr/umwelt/energie/planfeststellung/ear/21\\_01\\_06\\_erweiterte\\_untersuchung.pdf](https://www.regierung.oberfranken.bayern.de/imperia/md/content/regofr/umwelt/energie/planfeststellung/ear/21_01_06_erweiterte_untersuchung.pdf). Abruf 22.10.2015.
- Froelich & Sporbeck; Kieler Institut für Landschaftsökologie; White & Case LLP (2012): Netzausbau und Natura 2000/Artenschutz. Rechtliche und naturschutzfachliche Analyse typischer genehmigungsrechtlicher Fragestellungen sowie Entwicklung von Ansätzen zu ihrer Lösung. Studie im Auftrag des BMWI.
- Fuchs, K.; Novitsky, A.; Berger, F., Westermann, D. (2014): Hochspannungsgleichstromübertragung - Eigenschaften des Übertragungsmediums Freileitung. Universitätsverlag Ilmenau. Online verfügbar unter [www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-28435/ilm1-2014100019.pdf](http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-28435/ilm1-2014100019.pdf); Abruf 27.09.2016.
- Gassner, E.; Winkelbrandt, A.; Bernotat, D. (2010): UVP und Strategische Umweltprüfung, Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltprüfung. 5. Aufl., C. F. Müller Verlag: Heidelberg.
- Gebhardt, S.; Zink, A.; Fleige, H.; Horn, R. (2012): Bodenschutz auf Linienbaustellen. Online unter: <https://www.BODENSCHUTZdigital.de/Zbos.01.2012.016>. Abruf 06.10.2016.
- GFN | Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH; Universität Duisburg-Essen; GEO | Gesellschaft für Energie und Oekologie mbH (2009): Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen. FuE-Vorhaben (FKZ 806 82 070) im Auftrag des BfN (Bundesamt für Naturschutz). Endbericht. Online unter:

- [http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/endbericht\\_ausbau\\_stromleitung\\_kueste.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/endbericht_ausbau_stromleitung_kueste.pdf). Abruf. 30.06.2015.
- GL Berlin-Brandenburg (2009): Landesplanerische Beurteilung für das Vorhaben „Erdgas-transportleitung OPAL, Abschnitt Brandenburg Nord vom 30.09.2009.
- Gnan, R. (2002): Analyse und Bewertung der Abundanz und des Artenspektrums von Regenwurmpopulationen (Lumbriciden) in ackerbaulich genutzten Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation an der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Gregory, P. J.; Lake, J. V.; Rose, D. A. (1987): Root development and function. Society for Experimental Biology, seminar series 30, Cambridge University Press, Cambridge
- Hänel, K. u. Reck, H. (2011): Bundesweite Prioritäten zur Wiedervernetzung von Ökosystemen: Die Überwindung straßenbedingter Barrieren. Ergebnisse des F+E-Vorhabens 3507 82 090 des Bundesamtes für Naturschutz (BfN). Naturschutz und Biologische Vielfalt 108, Bonn Bad-Godesberg.
- Hänggi, A. u. Baur, B. (1998): The effect of forest edge on ground-living arthropods in a remnant of unfertilized calcareous grassland in the Swiss Jura mountains. In: Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft 71 (1998), S. 343-353.
- Henken-Mellies, W.; Maier-Harth, U.; Melchior, S.; Wattendorf, P. (2010): Empfehlung „E 2-31 Rekultivierungsschichten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (<http://www.gdaonline.de/pdf/E2-31.pdf> Zugriff 06.10.2016)
- Herrmann, M. u. Mathews, A. (2007): Wirkung von Barrieren auf Säuger und Reptilien. Verbände-Vorhaben „Überwindung von Barrieren“. Online verfügbar unter: [https://www.jagdverband.de/sites/default/files/herrmann\\_endberichtdok20\\_0.pdf](https://www.jagdverband.de/sites/default/files/herrmann_endberichtdok20_0.pdf); Abruf am 06.10.2016.
- Heydemann, B. (1981): Wie groß müssen Flächen für den Arten- und Ökosystemschutz sein? In: Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege, Bd. 31 (1981).
- Hoffmann, M. u. Noack, F. (2007): Machbarkeitsstudie 380 kV - Kabel für Salzburg.
- Höhlschen, M. (2011): Allgemeine Informationen zur Erdgasfernleitung OPAL (Ostsee-Pipeline-Anbindungs-Leitung) – Abschnitt Brandenburg. In: Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1/2-2011, S. 3-8.
- Honds, M. (2011): Baumwurzeln und erdverlegte Leitungen – Ursachen und Folgen einer komplexen Koexistenz, <http://www.nodig-bau.de/doks/pdf/Fachbericht-01-03-2012-2.pdf> (Zugriff 15.03.106)
- Hornschuh, F. (2009): Ausbreitungsstrategien der Feinwurzelsysteme von Wald-Kiefer und Rot-Buche in Rein- und Umbaubeständen. In: Forstwissenschaftliche Beiträge Heft 30, Stuttgart
- Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.) (2011): Bericht – 1. Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Wurzelforschung, Irnding
- Jarass, L. (2012): Bundesimmissionsschutzgesetz. Kommentar. 9. Auflage.
- Jarass, L.; Obermair, G. M. (2012): Welchen Netzbau erfordert die Energiewende? MV-Verlag, Münster.

- Killer, G.; Ringler A.; Heiland, S. (1994): Lebensraumtyp Leitungstrassen; Landschaftspflegekonzept Bayern, Band II.16. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL), 115 Seiten; München.
- Klenke, R.; Ulbricht, J. (2000): Beeinflussen Zerschneidungen die Verteilung von Greifvögeln im Raum? - In: Stubbe, M. /Hrsg.: Populationsökologie von Greifvögeln und Eulen 4: 69-99.
- Koch, D. (2010): Langzeitentwicklung der Bodentemperaturen in verschiedenen Naturräumen Nordrhein-Westfalens. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität zu Köln. Online unter: [http://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/dokumente/Diplomarbeit-Bodentemperaturen\\_sec.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/kfm-indikatoren/dokumente/Diplomarbeit-Bodentemperaturen_sec.pdf). Abruf .28.07.2015.
- Köstler, J. N.; Brückner, E.; Bibelriether, H (1968): Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchung zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin
- Kutschera, L.; Lichtenegger, E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Stocker, Graz
- LABO | Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2010): LABO-Positionspapier „Boden und Klimawandel“ Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes; Stand 09.06.2010. Online unter: [https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO\\_Positionspapier\\_Boden\\_und\\_Klimawandel\\_090610\\_aa8\\_bf5.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Positionspapier_Boden_und_Klimawandel_090610_aa8_bf5.pdf). Abruf 06.10.2016.
- Lambrecht et al. (2004): Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsuntersuchung. F+E Endbericht. Im Auftrag des BfN, FKZ 801 82 130
- Lange GbR (2014): Erdgasfernleitung NOWAL. Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren Kurzfassung. Vorhabenträger: GASCADE; Bearbeitung: Ing.- und Planungsbüro Lange GbR. Oktober 2014. Online unter [https://www.bezreg-det-mold.nrw.de/400\\_WirUeberUns/030\\_Die\\_Behoerde/040\\_Organisation/020\\_Abteilung\\_2/050\\_Dezernat\\_25/090\\_Planfeststellung\\_\\_\\_Plangenehmigung/Info\\_zu\\_Planfeststellungsverfahren/Verfahrensuebersicht/Ergasfernleitung\\_NOWAL\\_bis\\_Drohne/Inhaltsuebersicht/index.php](https://www.bezreg-det-mold.nrw.de/400_WirUeberUns/030_Die_Behoerde/040_Organisation/020_Abteilung_2/050_Dezernat_25/090_Planfeststellung___Plangenehmigung/Info_zu_Planfeststellungsverfahren/Verfahrensuebersicht/Ergasfernleitung_NOWAL_bis_Drohne/Inhaltsuebersicht/index.php). Abruf 10.10.2015.
- Laures, W. (2003): Untersuchungen zum Einsatz von Höchstspannungskabeln großer Längen in der 400-kV-Ebene. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen.
- LBEG | Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (2014): Bodenschutz beim Bauen. Ein Leitfaden für den behördlichen Vollzug in Niedersachsen. Online unter: [http://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/karten\\_daten\\_publicationen/publicationen/geoberichte/geoberichte\\_28/geoberichte-28-129793.html](http://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/karten_daten_publicationen/publicationen/geoberichte/geoberichte_28/geoberichte-28-129793.html). Abruf .28.07.2015.
- LBM Rheinland-Pfalz (2009): Leistungsbild Umweltbaubegleitung (UBB). Integration der Umweltbelange in die Ausführung. Bearbeitung: Grontmij GfL im Auftrag des Landesbetriebs für Mobilität Rheinland-Pfalz.

- LLUR | Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (2014): Leitfaden Bodenschutz auf Linienbaustellen. Online unter: [https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/leitfaden\\_bodenschutz.pdf](https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/leitfaden_bodenschutz.pdf). Abruf am 28.07.2015.
- LNU NW u. MUNLV NW | Landesgemeinschaft Naturschutz und Umwelt e.V. u. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen/ Hrsg. (2004): Kennzeichen und wert historisch alter Wälder. Seminarberichte Band 5. Online unter [https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Schriftenreihe/Schriftenreihe\\_Sonderhefte/Kennzeichen\\_Wert\\_historische\\_Waelder.pdf](https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Schriftenreihe/Schriftenreihe_Sonderhefte/Kennzeichen_Wert_historische_Waelder.pdf). Abruf 12.12.2015.
- Lundberg, P.; Gustafsson, A.; Jeronse, M. (2015): Recent advancements in HVDC VSC systems. HVDC and Power Electronics technology and development. CIGRE 125. Online unter <https://library.e.abb.com/public/e88c538bbd394c8baed8fe032573c082/Recent%20advancements%20in%20HVDC%20VSC%20systems.pdf>; Abruf 12.02.2015.
- Mader, H. J.; Schell, C.; Kornacker, P. (1990): Linear Barriers to Arthropod Movements in the Landscape. *Biological Conservation* 54 (1990), p. 209-222.
- Mader, H.-J. (1979): Die Isolationswirkung von Verkehrsstraßen auf Tierpopulationen, untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugetern der Waldbiozönose. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 19: 1-131.
- Mader, H.-J. (1981): Der Konflikt Straße – Tierwelt aus ökologischer Sicht. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 22.
- Melchior, S.(2000): Materialwahl, Schichtaufbau und Dimensionierung der Rekultivierungsschicht. in: Ramke, H.-G.; Berger, K.; Stief, K. (Hrsg.): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten, Tagung am 08.09.2000, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 47
- Mickovski, S.B.; Ennos, A.R. (2003): Anchorage and asymmetry in the root system of *Pinus peuce*. *Silva Fennica*
- Mohrmann, M. u. Hofmann, J. (2011): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen - Ergebnisbericht der Arbeitsgruppe Technik/Ökonomie – Thermische Berechnungen. In: EfZN (2011): Ökologische Auswirkungen von 380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen. Forschungsprojekt 03MAP189 im Auftrag des BMU. Online unter: <http://d-nb.info/1020733411/34>. Abruf am 30.06.2015.
- NABU | Naturschutzbund Deutschland (2014): Mehr Artenvielfalt auf Stromtrassen. Synergien zwischen Naturschutz und Netzausbau. Broschüre. Online unter <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/150416-nabu-artenvielfalt-stromtrassen.pdf>; Abruf am 06.10.2016.
- Netzgesellschaft mbH Chemnitz (2001): Technische Richtlinie „Schutzstreifen für Gasleitungen“.
- nkt cables (2014): Das weltweit größte 380-kV-Turnkey-Kabelprojekt – Randstad380 Zu- idring. Online unter: [http://www.nktcables.de/fileadmin/user\\_upload/nkt\\_cables\\_COM/Success\\_Stories/Reference-Flyer-TenneT.pdf](http://www.nktcables.de/fileadmin/user_upload/nkt_cables_COM/Success_Stories/Reference-Flyer-TenneT.pdf). Abruf am 06.10.2016.

- Oswald, B.R.; Hofmann, L.; (2010): Wirtschaftlichkeitsvergleich unterschiedlicher Übertragungstechniken im Höchstspannungsnetz anhand der 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar. Im Auftrag der transpower stromübertragungs gmbh, Bayreuth. Hannover.
- PAN GmbH (Planungsbüro für angewandten Naturschutz) (2006): Übersicht zur Abschätzung von Minimalarealen von Tierpopulationen in Bayern, Stand Dezember 2006. Online unter [www.pan-gmbh.com/content/dload/TabMinimalareal.pdf](http://www.pan-gmbh.com/content/dload/TabMinimalareal.pdf). Abruf am 06.10.2016
- Prescott, Cindy; Helmisaari, Heljä-Sisko; Godbold, Douglas L.; Ado-Danso, Shalom Daniel (2016): Forests, Roots and Soil Carbon. In: Forest Ecology and Management. Volume 359, S. 1-388.
- Roth, M. u. Ulbricht, J. (2006): Zoologisch-ökologische Grundlagen und allgemeine Wirkungen von Zerschneidung und Störung. In: Baier et al. (Hrsg.), Freiraum und Naturschutz, S. 113-117.
- Roth, M.; Waterstraat, A.; Klenke, R. (2006): Ökologische und evolutionsbiologische Wirkungen der Segmentierung in Landschaften und der Zerschneidung in Habitaten. In: Baier, H. et al. /Hrsg.: Freiraum und Naturschutz - Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft. S. 143-150.
- Runge, K.; Baum, S.; Meister, P.; Rottgardt, E. (2012): Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten. Im Auftrag der Bundesnetzagentur. Oecos GmbH. Online unter: [www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2022/UB/GutachtenRunge.pdf](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2022/UB/GutachtenRunge.pdf). Abruf am 06.10.2016.
- Schäfer, W., Gehrt, E., Müller, U., Blankenburg, J.; Gröger, J. (2010): Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten. In: LBEG | Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen/Hrsg.: Geofakten 24, S. 1-9.
- Schuchardt, B.; Scholle, J.; Beckmann, M.; Kulp, H.-G. (1999): Auswirkung der Verlegung einer Gasfernleitung auf die Bodenfunktionen. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 31(6), S. 165-170.
- Sengbusch, K. von; Hanson, J. (2007): Einbindung von HGÜ-Systemen in Wechselstromnetze – Erfahrungen und Potentiale. Internationaler ETG-Kongress 2007.
- Sinn, G. (1982): Wurzelsystem der Straßenbäume. Eine Literaturlauswertung. In: Das Gartenamt 31. Online unter <http://www.baumstatik.de/pages/aufsaetze/arti02.htm>. Abruf am 5.4.2016
- Sinn, G. (1983): Standsicherheit von Bäumen und Möglichkeiten der statischen Berechnung. In: Das Gartenamt 32. Online unter: <http://www.baumstatik.de/pages/aufsaetze/arti07.htm>. Abruf am 6.4.2016
- Sinn, Th. (1988): Zur Ausbildung des Wurzelwerkes bei Bäumen nach morphologischen Gesichtspunkten und die verschiedenen Einflüsse darauf <http://www.baumstatik.de/pages/aufsaetze/thswurzel.htm>. Abruf: 5.4.2016
- Speta, F. (1997): Zur Geschichte der Wurzelforschung mit besonderer Berücksichtigung der Aktivitäten in Österreich, Biologiezentrum Linz (Hrsg.); In: Stapfia 50.
- Stimm, B., Blaschke, H., Rothkegel, W., Ruppert, O. (2013). Stabilität hat tiefe Wurzeln. In: LWF aktuell 93 / 2013. Online unter: [www.ezgf-forstpflanzen.de/Aktuell/lwf\\_a93\\_S\\_9\\_14\\_Wurzel-Spross.pdf](http://www.ezgf-forstpflanzen.de/Aktuell/lwf_a93_S_9_14_Wurzel-Spross.pdf). Abruf 5.4.2016

- Stokes, A. (1994): Responses of young trees to wind: effects on root architecture and anchorage strength. Dissertation. University of York. Online unter: [etheses.whiterose.ac.uk/2438/1/DX184141.pdf](http://theses.whiterose.ac.uk/2438/1/DX184141.pdf)
- Streckenbach, M.; Stützel, T., Bennerscheidt, C.; Schröder, K. (2007): Wurzeln und unterirdische Infrastruktur, in: AFZ-Der Wald 4/2007.
- Streckenbach, M (2011): Wurzelwachstum an naturfremden Standorten. In: Roloff, A.; Thiel, D.; Weiss, H. (Hrsg.): Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt 2011, Beiheft 10. Online unter: [http://www.streckenbach.org/dst\\_2011.html](http://www.streckenbach.org/dst_2011.html) (Zugriff 06.10.2016)
- Streckenbach, M. (2009): Interaktion zwischen Wurzeln und unterirdischer technischer Infrastruktur – Grundlagen und Strategien zur Problemvermeidung, Dissertation, Ruhr Universität Bochum
- Streckenbach, M.; Bennerscheidt, C.; Stützel, T. (2009): Durch Wurzeln verursachte Schäden an Rohrleitungen und vergleichbaren Bauwerken. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2009. Haymarket Media, Braunschweig. Online unter: [http://www.streckenbach.org/dbt\\_04\\_2009.html](http://www.streckenbach.org/dbt_04_2009.html) (Zugriff 06.10.2016)
- Streckenbach, M., Schröder, K., Bennerscheidt, C.; (2013): Abschlussbericht – Umweltsicherer Kanalbau durch wurzelfeste Bettung der Rohre – Teil 2, Bochum.
- Streckenbach, M. (2012): Urbane Böden – eine Lebensgrundlage für Gehölze?. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2012. Haymarket Media, Braunschweig. Online unter: [http://www.streckenbach.org/dbt\\_04\\_2012.html#dbt\\_04\\_2012\\_literatur\\_76](http://www.streckenbach.org/dbt_04_2012.html#dbt_04_2012_literatur_76) (Zugriff 15.03.2016)
- Stützel, T.; Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.; Schmiedener, H.; Streckenbach, M. (2007): Wurzeleinwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle. „Ergänzungsvorhaben“, Gelsenkirchen
- Swissgrid (2012): Erdverkabelung im Höchstspannungsnetz. Eine Option, kein Patentrezept. Online verfügbar unter [http://www.hsub.ch/Doc/Erdverkabelung\\_Hoechstspannungsnetz\\_de.pdf](http://www.hsub.ch/Doc/Erdverkabelung_Hoechstspannungsnetz_de.pdf); Abruf 08.04.2015.
- Swissgrid (2013a): Erdverkabelung im Höchstspannungsnetz. Online verfügbar unter [http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/erdverkabelung\\_hsn\\_de.pdf](http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/erdverkabelung_hsn_de.pdf); Abruf 06.10.2016
- Swissgrid (o. J.): Erkenntnisse zur Teilverkabelung „Gäbühübel“. Online verfügbar unter [http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/fachbeitrag\\_gaebihuebel\\_de.pdf](http://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/company/publications/de/fachbeitrag_gaebihuebel_de.pdf); Abruf 06.10.2016
- Swissgrid AG (2013a): 380-kV-Leitung Beznau – Birr Abschnitt: Mast 28 (exkl.) bis Mast 32 (exkl.) 27.09.2013 – Anlage 1: Technischer Bericht
- Swissgrid AG (2013b): 380-kV-Leitung Beznau – Birr Abschnitt: Mast 28 (exkl.) bis Mast 32 (exkl.) – Anlage 2: Umweltverträglichkeitsbericht
- SWKL | Stadtwerke Kamp-Lintfort (2009): Leitungsschutzanweisungen der Stadt Kamp-Lintfort. Online unter: [http://www.swkl.de/cms/images/bilder/planauskunft/sw\\_leitungsschutzanweisung\\_merkblatt\\_waerme.pdf](http://www.swkl.de/cms/images/bilder/planauskunft/sw_leitungsschutzanweisung_merkblatt_waerme.pdf). Abruf am 28.07.2015.

- TenneT (2011): Regelgrabenprofil 380-kV-Kabelgraben (Ganderkesee). In Broschüre „Ganderkesee – St. Hülfe“.
- TenneT (2012): Übersicht DC- und AC-Leitungen, Landtrassen.
- TenneT (2012a): Erläuterungsbericht zur 600-kV-DC Leitung DolWin beta – Dörpen/West des Netzanbindungsprojektes DolWin2 für den Bereich der 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Dörpen/West - Abschnitt Landtrasse.
- TenneT (2012b): DolWin3 / 600-kV-Leitung DolWin gamma – Dörpen/West. Baubeschreibung zur Erstellung von Horizontalbohrungen für die Emskreuzung bei Gandersum.
- TenneT (2014): Landschaftspflegerischer Begleitplan zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost – Landtrasse.
- TenneT (2014): Planfeststellungsverfahren gemäß § 43 EnWG. Neubau einer 380-kV-Leitung Ganderkesee – St. Hülfe Nr. 309. Alternativplanung. Allgemein verständliche Zusammenfassung der Unterlage nach § 6 UVPG.
- TenneT (2014a): Antrag nach § 6 NABEG – Projekt Höchstspannungsleitung Wilster - Grafenrheinfeld, SuedLink. Bearbeitet von Froelich & Sporbeck, IBUe, LTB Leitungsbau.
- TenneT (2014b): Erläuterungsbericht Höchstspannungsleitung Wilster – Grafenrheinfeld, SuedLink.
- TenneT (2015a): Der Einsatz von Erdkabeln – 380 kV-Drehstrom. Broschüre.
- TenneT (2015a): Umweltstudie: Textteil (UVS, LBP) und Anhänge – Anlage 12. 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen-UW Mecklar, LH-11-3040 Teilabschnitt C: UW Hardeggen – Landesgrenze NI/HE.
- TenneT (2015b): HGÜ-Erdkabel. Erdverkabelung bei Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ). Broschüre, Stand Oktober 2015.
- TenneT (2016): Projektinformation Wilhelmshaven – Conneforde. Online unter: <http://www.tennet.eu/de/netz-und-projekte/onshore-projekte/wilhelmshaven-conneforde.html>. Abruf 06.10.2016
- Terra Planta (2014): Auswirkungen der Wärmeemission von Höchstspannungserdkabeln auf den Boden und auf landwirtschaftliche Kulturen. Gutachten zum Planfeststellungsverfahren. für den Neubau der 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 Abschnitt: Pkt. Borken Süd – Pkt. Nordvelen. Anlage 23.
- Trinks, S. (2010): Einfluss des Wasser- und Wärmehaushaltes von Böden auf den Betrieb erdverlegter Energiekabel. Dissertation. Technische Universität, Berlin. Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt.
- Trüby, P. (2012): Auswirkungen der Wärmeemission von Hochspannungserdkabeln auf den Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens. Gutachten im Auftrag von Amprion zum Planfeststellungsverfahren des EK-Abschnitts Raesfeld; Anlage 38.
- Trüby, P. u. Aldinger, E. (2013): Auswirkungen der Wärmeemission von Hochspannungserdkabeln auf den Wärme- und Wasserhaushalt des Bodens. In: DRL (Hrsg.) (2013): Anforderungen an den Um- und Ausbau des Höchstspannungsstromnetzes – aus der Sicht

- von Naturschutz und Kulturlandschaftspflege. Schriftenreihe des DRL, Heft 84, S. 100-108.
- UBA |Umweltbundesamt (2014): Umweltbelange und raumbezogene Erfordernisse bei der Planung des Ausbaus des Höchstspannungs-Übertragungsnetzes - Band I: Gesamtdokumentation. Bearbeitung: Peters, W. u. Weingarten, E.
- Ulbricht, J. u. Roth, M. (2006): Die Wirkungen von Zerschneidung und von Störungen auf Populationen und Biozönosen. In: Baier et al. (Hrsg.), Freiraum und Naturschutz, S. 199-280.
- Uther, D.; Trüby, P.; Aldinger, E.; Brakelmann, H.; Stammen, J. (2009): Wärmeemission bei Hoch- und Höchstspannungserdkabeln. EW, Magazin für Energiewirtschaft, Jg. 108, H. 10, S. 66-74.
- Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V./Hrsg. (2000): Technische Richtlinien des DCA. Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten. 2. Aufl.
- Verbund (1999): Ökologische und ökonomische Trassengestaltung. Neue Lösungsansätze zur Gestaltung und Nutzung von Freileitungstrassen nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten. Forschung im Verbund. Schriftenreihe Band 54
- Wahl, M. (2010): Der RWE-Biotopmanager. Gezielt eingreifen, die Natur unterstützen. In: Netzwerk kommunal. Nr 4/2010, S. 1-2. Online unter <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/535266/data/572202/2/rwe-deutschland/kommunen/im-dialog/netzwerk-kommunal/Netzwerk-Kommunal-EMH-04-2010.pdf>. Abruf 06.10.2016.
- Wattendorf, P.; Ehrmann, O. (2007): Wurzelsperren in Rekultivierungsschichten als Schutz der Dichtungselemente? Untersuchung zur Funktion und Wirksamkeit von Wurzelsperresystemen. Beitrag zur 3. Leipziger Deponiefachtagung. Online unter [http://www.landespflege-freiburg.de/ressourcen/wattendorf\\_idf\\_2007.pdf](http://www.landespflege-freiburg.de/ressourcen/wattendorf_idf_2007.pdf) Abruf 03.08.2015)
- Wilde, S. A. (1962): Forstliche Bodenkunde. Hamburg, Berlin.
- Zechmeister-Boltenstern, S. (2009): Bodenbiologie: Regenwurm & Co. BFW-Praxisinformation 19, S. 20-22.
- ZinCo GmbH (2015): Pflanzenlisten (für den Dachgarten). Nürtingen. Online unter [www.zinco.de/planungsporta/pflanzenlisten/pdfs/Pfl-Liste-IntensivGehoeelze.pdf](http://www.zinco.de/planungsporta/pflanzenlisten/pdfs/Pfl-Liste-IntensivGehoeelze.pdf); Abruf am 06.10.2016
- Zulka, K. P. (1996): Methodisches Design für die Erfassung und Bewertung von Arthropodenbeständen und Arthropodenlebensräumen am Beispiel der Laufkäferfauna (Coleoptera, Carabidae). In: Wissenschaftliche Mitteilungen Niederösterreichisches Landesmuseum 9, S. 341-363. Online verfügbar unter: [http://www.zobodat.at/pdf/WM\\_9\\_0341-0363.pdf](http://www.zobodat.at/pdf/WM_9_0341-0363.pdf); Abruf am 03.12.2015.

## 7.2 Internetquellen

- 50Hertz (2012): Hintergrundinformationen-Erdkabel-Freileitung. Broschüre. Online unter <http://www.50hertz.com/Portals/3/Content/Dokumente/Netzausbau/Freileitung-vs-Kabel/Hintergrundinformationen-Erdkabel-Freileitung-201203.pdf>; Abruf 06.08.2015.
- 50Hertz (2015): Korridor D / Gleichstrompassage Süd-Ost. Online verfügbar unter: <http://www.50hertz.com/de/Netzausbau/Projekte/Korridor-D-Gleichstrompassage-Sued-Ost>. Abruf am 17.11.2015.
- ABB (12.10.2015): Stellungnahme für die öffentliche Anhörung zum Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Ausschuss für Wirtschaft und Energie, Sitzung am 12.10.2015. Online unter <https://www.bundestag.de/blob/391440/0b2d3bd7c093ca9a97c3ac405207118b/abb-ag-data.pdf>. Abruf 15.12.2015.
- ABB (2013): Energiekabel und Dienstleistungen bis zu höchsten Spannungen. Online unter <http://www.abb.de/cawp/seitp202/9eda13cd63b2aee2c1257b4400364951.aspx>; Abruf 29.05.2016
- ABB (2010): XLPE Land Cable Systems – User’s Guide. Online unter <https://library.e.abb.com/public/ab02245fb5b5ec41c12575c4004a76d0/XLPE%20Land%20Cable%20Systems%20GM5007GB%20rev%205.pdf>. Abruf 12.02.2016.
- ABB (2014): ABB Grid Systems, Technical Paper: The new 525 kV extruded HVDC cable system. August 2014. Online verfügbar unter <http://new.abb.com/docs/librariesprovider138/default-document-library/hannover-messe-2015/whitepaper-525kv.pdf?sfvrsn=4>. Abruf am 25.11.2015.
- Amprion (2014): ALEGRO – Die erste Strombrücke nach Belgien. Online unter: [http://www.bueroberg.de/wpcontent/uploads/2015/06/Amprion\\_ALEGRO\\_DE\\_140924\\_opt.pdf](http://www.bueroberg.de/wpcontent/uploads/2015/06/Amprion_ALEGRO_DE_140924_opt.pdf). Abruf 12.02.2016.
- Amprion (2015): ALEGrO – Projektbeschreibung. Online unter: <http://netzausbau.amprion.net/projekte/alegro-deutschland-belgien>. Abruf 12.02.2016.
- Amprion (2016): Projektinformation Niederrhein-Wesel. Online unter: <http://netzausbau.amprion.net/projekte/wesel-koblenz/planungsstand>. Abruf: 12.04.2016
- Amprion (o. J. b): Bürgerbeteiligung zur neuen Erdkabel-Strombrücke nach Belgien, Fragen und Antworten zu Umsetzung und Bau. Online unter: <https://alegrodialog.de/informationen/fragen-und-antworten-zu-umsetzung-und-bau>. Abruf 27.10.2015.
- Amprion online (30.10.2015): Aktueller Trassenentwurf ALEGrO. Online unter <https://alegrodialog.de/news/aktueller-trassenentwurf>. Abruf 15.12.2015.
- Amprion online (o. J.): Biotopmanagement in Leitungstrassen. Online unter <http://www.amprion.net/trassenpflege>; Abruf 15.10.2015.
- ARL (Amt für regionale Landesentwicklung Weser-Ems) (2016). Planungsstand UW-Lüstringen – Pkt. Melle. Online unter: [http://www.arl-we.niedersachsen.de/startseite/wir\\_ueber\\_uns/strategie\\_und\\_planung/raumordnung/raumordnungsverfahren](http://www.arl-we.niedersachsen.de/startseite/wir_ueber_uns/strategie_und_planung/raumordnung/raumordnungsverfahren)

ren/laufende\_raumordnungsverfahren/380\_kvleitungen\_luestringenguetersloh/www.380kv-osna.niedersachsen.de-134869.html. Abruf 12.04.2016

BfN | Bundesamt für Naturschutz online (o. J.): Zerschneidung – Wiedervernetzung. Online unter [https://www.bfn.de/0306\\_zerschneidung.html](https://www.bfn.de/0306_zerschneidung.html); Abruf 15.12.2015.

BVG Leipzig (12.09.2012): Neubau einer 380 kV-Höchstspannungsleitung - Klageverfahren gütlich beigelegt. Pressemitteilung Nr. 88/2012 vom 12.09.2012. Online verfügbar unter <http://www.bverwg.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung.php?jahr=2012&nr=88>; Abruf 08.04.2015.

DVL | Deutscher Verband für Landschaftspflege (o. J.): Ökologisches Trassenmanagement im Marscheider Wald, Stadt Wuppertal. Online unter: <http://www.lpv.de/themen/biotopverbund/oekologisches-trassenmanagement/trassendetails/route/marscheider-wald-stadt-wuppertal.html>. Abruf 27.09.2016)

DVL | Deutscher Verband für Landschaftspflege (o. J.): Ökologisches Trassenmanagement im Naturpark Thüringer Wald. Online unter <http://www.lpv.de/themen/biotopverbund/oekologisches-trassenmanagement/trassendetails/route/naturpark-thueringer-wald.html>. Abruf 27.09.2016.

DWD Service: Bodentemperatur. Online unter: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/bodentemperatur/bodentemperatur.html>. Abruf 30.01.2016.

Föckersperger: Verlegepflugsysteme. Online unter <http://www.foeck.com/verlegepflug.html>; Abruf 25.02.2016.

Fraunhofer: Webplattform Bauforschungsprojekte. Online unter: <https://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/AGROTHERM-Entwicklung-eines-im-Erdboden-verlegten-Waermetauschers-als-Kuehlsystem/86038000075>). Abruf 30.10.2015.

HDG Umwelttechnik GmbH (2013): HDG-Referenz zu Kabelverfüllung EMSDÜKER 1 u. 2 nahe Gandersum/Sperwerk EMS. Online unter: [http://www.hdg-gmbh.com/fileadmin/benutzerdaten/hdg-umwelttechnik-com/pdf/presse/hdg\\_referenz\\_emsdueker\\_1\\_und\\_2\\_11-12-2013.pdf](http://www.hdg-gmbh.com/fileadmin/benutzerdaten/hdg-umwelttechnik-com/pdf/presse/hdg_referenz_emsdueker_1_und_2_11-12-2013.pdf). Abruf .17.11.2015.

Hewson Consulting Engineers (online, 2015): Bramley-Didcot 400kV Cable Replacement Scheme. Online verfügbar unter <http://www.hcel.co.uk/project/show/308/geotechnical>; Abruf 08.04.2015.

Ludwig Pfeiffer (o. J.): Grabenloses Bauen. Prospekt. Online unter: [http://ludwigpfeiffer.com/wp-content/uploads/160524\\_Grabenloser\\_Neubau\\_dt.pdf](http://ludwigpfeiffer.com/wp-content/uploads/160524_Grabenloser_Neubau_dt.pdf). Abruf am 06.10.2016.

Mayer, R. (02.06.2014): UVP-Verfahren zur 380 kV-Leitung mit Buh-Rufen gestartet. Salzburger Nachrichten online, <http://www.salzburg.com/nachrichten/salzburg/politik/sn/artikel/uvp-verfahren-zur-380kv-leitung-mit-buhrufen-gestartet-109035/>; Abruf 08.04.2015.

Nexans (2015): Technische Daten Kabel HS XKDCu(Al)T 1200 mm<sup>2</sup> Alu 220 kV. Online unter: [http://www.nexans.ch/eservice/Switzerland-de\\_CH/navigate\\_16803/XLPE\\_isolierte\\_Hochspannungskabel\\_Typ\\_XAluWT.html#characteristics](http://www.nexans.ch/eservice/Switzerland-de_CH/navigate_16803/XLPE_isolierte_Hochspannungskabel_Typ_XAluWT.html#characteristics). Abruf am 06.10.2016.

NLStV (Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr): Neubau und Betrieb einer kombinierten 380-kV-Höchstspannungsfrei- und -erdkabelleitung zwischen dem Umspannwerk Dörpen West und Punkt Meppen. Online abrufbar unter [http://www.strassenbau.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=21073&article\\_id=128984&psmand=135](http://www.strassenbau.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=21073&article_id=128984&psmand=135); Abruf 06.10.2016.

NLStV (Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr): Errichtung einer kombinierten 380-kV-Höchstspannungsfrei- und/ oder -erdkabelleitung Ganderkesee – St. Hülfe. Online unter: [http://www.strassenbau.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=21073&article\\_id=111421&psmand=135](http://www.strassenbau.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=21073&article_id=111421&psmand=135). Abruf am 06.10.2016

Siemens online (16.10.2015): Gasisolierte Übertragungsleitungen. Online unter <http://www.energy.siemens.com/hq/de/stromuebertragung/gasisolierte-uebertragungsleitungen.htm>. Abruf 06.10.2016.

Swissgrid online (07.01.2016): Aufnahme Bodenprofile beim Netzprojekt Beznau – Birr, Teilverkabelung „Gäbühel“. Online verfügbar unter [http://www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/current/news/\\_07\\_01\\_2016\\_01.html](http://www.swissgrid.ch/swissgrid/de/home/current/news/_07_01_2016_01.html); Abruf 06.10.2016.

Universität Münster (online): Hypersoil. Online unter: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/05/04.htm>. Abruf am 06.10.2016.

### 7.3 Mündliche und nicht-öffentliche Mitteilungen

Aßmann, T. (20.01.2016, telefon.): Auskünfte zu Auswirkungen von Fragmentierung und Habitaterschneidung auf waldlebende Arten. Professor für Ökologie, Schwerpunkt Tierökologie an der Leuphana Universität Lüneburg.

Amprion (o. J. a): Neubau der 380 kV-Kabelanlagen Raesfeld – offene und geschlossene Bauweise. Präsentationsfolien am 20.12.2015; per Mail von Amprion (D. Uther) übermittelt.

Amprion u. ERM (o. J.): Erdkabel-Pilotprojekt Raesfeld. Monitoringkonzept. Präsentationsfolien am 16.12.2015 per Mail von Amprion (D. Uther) übermittelt.

Brüggmann, J. (09.02.2016): Kommentierung der Zusammenfassung; per mail übermittelt am 09.02.2016.

Dick, P. (16.11.2015): Horizontalspülbohrverfahren. Vortrag im Rahmen der 2. PAG am 16.11.2015 im BfN in Leipzig.

Dick, P. (24.11.2015, per mail): Technische Fragen der Unterbohrungsverfahren. Beantwortung fachlicher Fragen im Nachgang zur PAG am 16.11.2015.

Ehrhardt-Unglaub, T. (15.03.2015, mdl.): Telefonische Auskunft des Teamleiters „Offshore-Anbindungen“ bei TenneT zur Anfrage bezüglich der den Offshore-Anbindungen in Niedersachsen und Schleswig-Holstein.

- Feldwisch, N. (29.05.2015): Vortrag und Diskussionsbeitrag im Rahmen der 1. PAG am 29.05.2015 im BfN, Leipzig.
- Gebhardt, S. u. Horn, R. (2012): Bodenverhältnisse entlang der Kabeltrassen BorWin3 und BorWin4. Vom Vorhabenträger TenneT zur Verfügung gestelltes Material.
- GFN | Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung ((2012): Kabelverlegung HelWin 1 - Dokumentation der biologischen Baubegleitung Landtrasse. Unveröffentlichte, von TenneT zur Verfügung gestellte Projektunterlagen.
- GZP GbR (2013): Bodenschutzkonzept für den landseitigen Abschnitt des Netzanschlussprojektes DolWin2. Bearbeitung: S. Gebhardt und A. Zink. Vom Vorhabenträger TenneT zur Verfügung gestelltes Material.
- GZP GbR (2015): Bodenschutzkonzept. Landseitiger Abschnitt des Netzanschlussprojektes BorWin3. Vom Vorhabenträger TenneT zur Verfügung gestelltes Material.
- Habild, S. (17.01.2015): Erdverkabelung im Bereich der HGÜ-Leitungen. Präsentation. Online verfügbar unter [http://www.energie-innovativ.de/fileadmin/user\\_upload/energie\\_innovativ/Energiedialog/Dokumente/2015-01-17-Erdverkabelung-HGUE-Habild.pdf](http://www.energie-innovativ.de/fileadmin/user_upload/energie_innovativ/Energiedialog/Dokumente/2015-01-17-Erdverkabelung-HGUE-Habild.pdf); Abruf 08.04.2015.
- Happe, A. (05.11.2015): Stand zur östlichen Gleichstromverbindung. Vortrag im Rahmen des Bürgerdialogs, Magdeburg.
- Happe, A. (20.11.2015, telefon.): Auskünfte zur östlichen Gleichstromverbindung („Südostpassage“)
- Hirschmann, Judith (13.05.2015, mdl.): Telefonische Auskunft über den Stand des Verfahrens und geplanter Erdkabelabschnitte bei der Trasse Osterath-Philippsburg; BNetzA, Referat N1.
- Horenk, K. (20.09.2012): Ökologisches Schneisenmanagement. Vortrag beim Deutschen Landschaftspflegetag am 20.09.2012. Online unter [http://www.lpv.de/fileadmin/user\\_upload/data\\_files/Veranstaltungen/2012/LapfTag\\_2012/1\\_Horenk\\_%C3%B6kologisches\\_Schneisenmanagement.pdf](http://www.lpv.de/fileadmin/user_upload/data_files/Veranstaltungen/2012/LapfTag_2012/1_Horenk_%C3%B6kologisches_Schneisenmanagement.pdf). Abruf 06.10.2016.
- INROS LACKNER (2014a): Naturschutzfachliche Baubegleitung entlang der HVDC-Landkabeltrasse im Rahmen der Netzanbindung HelWin2. Unveröffentlichte, von TenneT zur Verfügung gestellte Projektunterlagen.
- INROS LACKNER (2014b): Abschlussbericht der Biologischen Baubegleitung zur Landkabeltrasse SylWin1. Unveröffentlichte, von TenneT zur Verfügung gestellte Projektunterlagen.
- Jungnitz, L. (28.01.2015, mdl.): Projektleiter Amprion für die EK-Trasse Raesfeld. Interview zur Planung und Baudurchführung der EK in Berlin.
- Klein, Ch. (14.10.2013): Erfahrungen mit ökologischem Schneisenmanagement auf waldquerenden Leitungstrassen. Vortrag im Rahmen des NABU-Workshops am 14.10.2013. Amprion.
- Madena, K. (12.03.2015): Erdverkabelung aus Sicht der Landwirtschaft. Vortragsfolien zur BGR-LBEG-Tagung „Energiewende - ein Thema für den Boden?“ am 12.03.2015 in Hannover.

- Meyerjürgens, T. (2013): HGÜ-Erdkabel: Potentiale und Erfahrungen. Vortrag im Rahmen der BfN-Fachtagung: Netzausbau mit der Natur – Lösungen für die Energiewende im Dialog, am 15.05.2013 in Berlin. Online verfügbar unter: [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/Tgng\\_netze\\_2013/presentationen/7\\_Tim\\_Meyerjuergens\\_\\_TenneT\\_Offshore\\_GmbH\\_HGUE-Erdkabel\\_Potentiale\\_und\\_Erfahrungen.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/Tgng_netze_2013/presentationen/7_Tim_Meyerjuergens__TenneT_Offshore_GmbH_HGUE-Erdkabel_Potentiale_und_Erfahrungen.pdf); Abruf 17.11.2015.
- Millinghaus, R. (05.11.2015, mdl): Projektleiter Amprion; Telefonische Auskünfte zum Stand der Planung des ALEGrO-Projektes.
- Neuling, E. (01.07.2015): Vortrag und Diskussionsbeiträge im Rahmen des Workshops „Ökologisches Trassenmanagement“, veranstaltet von BNetzA und BfN in Bonn.
- Neumann, Ch. (14.10.2013): Ergebnisse tierökologischer Untersuchungen unter und an Freileitungstrassen. Vortrag im Rahmen des NABU-Workshops am 14.10.2013.
- Pellow, B. (2014): HDD – Horizontal Directional Drilling – Spülbohrverfahren für alle Leitungstrassen, Technische Entwicklungen. Vortrag eines Mitarbeiters von TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG im Rahmen der Messe InfraTech 2014 in Essen. Online unter: [http://www.ikt.de/website/infrotech2014/powell\\_technische\\_entwicklungen.pdf](http://www.ikt.de/website/infrotech2014/powell_technische_entwicklungen.pdf). Abruf am 15.10.2015.
- Rasmus, J. (16.02.2012): ± 500 kV HGÜ Interkonnektor NORD.LINK. Vermeidung, Verminderung und Kompensation. Vortrag.
- Reck, H. (02.07.2015, mdl.): Biotopverbund: Zusammenfassung der Ergebnisse aus der AG 2 im Rahmen des Workshops „Ökologisches Trassenmanagement“ am 01.-02.07.2015 in Bonn, veranstaltet von BNetzA und BfN.
- Rethmeier, K. (01.12.2015): Stromnetzausbau mit Erdverkabelung - aus den Augen, aus dem Sinn? Stand der Technik von Erdkabeln der Höchstspannungsebene. Vortragsfolien Veranstaltung Bürgerdialog SuedLink, 01.12.2015 in Leingarten. Online unter [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5\\_Energie/Versorgungssicherheit/SuedLink/Dokumentation/01122015\\_Leingarten/2015\\_Erdkabelkonferenz\\_Rethmeier\\_Technik.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/5_Energie/Versorgungssicherheit/SuedLink/Dokumentation/01122015_Leingarten/2015_Erdkabelkonferenz_Rethmeier_Technik.pdf). Abruf 20.12.2015.
- Saßnick, Y. (16.11.2015, mdl.): Diskussionsbeiträge im Rahmen der 2. PAG-Sitzung im BfN in Leipzig.
- Saßnick, Y. (29.05.2015, mdl.): Diskussionsbeiträge im Rahmen der 1. PAG-Sitzung im BfN in Leipzig.
- Schaller, W. (03.03.2016): Freileitungsausnahmen. Vortragsfolien zur Methodenkonferenz der BNetzA am 03.03.2016 in Bonn. Online unter [http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Veranstaltungen/2016/Methodenkonferenz/Schaller.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Veranstaltungen/2016/Methodenkonferenz/Schaller.pdf?__blob=publicationFile). Abruf am 06.10.2016
- Schneller, C. (12.03.2015): Netzausbau & Boden - Perspektiven eines Netzbetreibers. Vortrag bei BGR-LBEG-Tagung „Energiewende- ein Thema für den Boden?“ am 12.03.2015 in Hannover. Online unter [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Aktuelles/2\\_Schneller\\_TenneT\\_Boden\\_Netzausbau.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Aktuelles/2_Schneller_TenneT_Boden_Netzausbau.pdf?__blob=publicationFile&v=2). Abruf 06.10.2016.

- Stanislawski, G. (30.07.2015, telefon): Geschäftsführer Büro Lange GbR. Telefonische Auskunft zu Projekterfahrungen mit Fernwärmeleitungen.
- Stegink-Hindriks, L. (19.02.2016, telefon.): Erfahrungen mit der naturverträglichen Trassenpflege von Freileitungen und Erdgasleitungen aus Sicht des niedersächsischen Landesforstes.
- Stegink-Hindriks, L. (24.10.2014): Trassen-Planungen im Mittelgebirge. Dauerpflege-Konzepte zum Biotopverbund - Chancen und Risiken aus Sicht der Landesforsten. Beitrag zum BESTGRID Projekt „SuedLink“ des NABU-Niedersachsen Hannover. Vortrag. Online unter [https://niedersachsen.nabu.de/imperia/md/content/niedersachsen/3\\_ludwig\\_stegink\\_hindriks\\_dauerpflege\\_nachhaltige\\_biotopvernetzung.pdf](https://niedersachsen.nabu.de/imperia/md/content/niedersachsen/3_ludwig_stegink_hindriks_dauerpflege_nachhaltige_biotopvernetzung.pdf); Abruf 06.10.2016
- Streckenbach, M.: Stellungnahme zum Protokoll der 1. PAG
- Streckenbach, M. (29.05.2015, mdl.): Diskussionsbeitrag im Rahmen der 1. PAG am 29.05.2015 im BfN, Leipzig.
- Swissgrid (2013b): Netzbauprojekt Beznau–Birri mit Teilverkabelung „Gäbühübel“. Medienkonferenz 13. Juni 2013. Vortrag. Online verfügbar unter <http://www.hsub.ch/Doc/praes%20sg%20riniken.pdf>; Abruf 06.10.2016.
- Thiel, A. (02.07.2015, mdl.): Diskussionsbeitrag im Rahmen der AG 4 „Trassenmanagement auf Erdkabeltrassen“ im Rahmen des Workshops „Ökologisches Trassenmanagement“, 01.- 02.07.2015 in Bonn, veranstaltet von BNetzA und BfN.
- Trüby, P.; Uther, D. (22.02.2011): Wärmeemission von Hochspannungserdkabeln - Ergebnisse eines Feldexperiments zur Einschätzung der Auswirkungen auf den Boden. Studie im Auftrag der Amprion GmbH. Vortrag an der TU-Hannover 22.02.2011.
- Trüby, P.; Uther, D.; Jungnitz, L. (29.05.2015): Wärmeemission von Hochspannungserdkabelanlagen: Auswirkungen auf Böden und Pflanzen. Vortrag im Rahmen der 1. Sitzung der PAG am 29.05.2015 im BfN in Leipzig.
- Uther, D. (01.07.2015): Vom konventionellen zum ökologischen Trassenmanagement. Vortragsfolien zum Expertenworkshop „Ökologisches Trassenmanagement“ am 01./02.07.2015 in Bonn, veranstaltet von BNetzA und BfN. Online unter [http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/Trassenmanagement/Uther.pdf;jsessionid=F17C88E09CE8EBC8397A43968627DFB6?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/Trassenmanagement/Uther.pdf;jsessionid=F17C88E09CE8EBC8397A43968627DFB6?__blob=publicationFile); Abruf 18.01.2016.
- Uther, D. (29.05.2015, mdl.): Diskussionsbeitrag im Rahmen der PAG am 29.05.2015 im BfN in Leipzig.
- Wagner, A. (o.J.): Wärmeverluste von Fernwärmenetzen. Stellenwert von Fernwärme / KWK im EEWärmeG. Vortragsfolien der E.ON Bayern Wärme GmbH. Online unter: <http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/wtag2012/Vortrag-01-TG.pdf>. Abruf am 29.07.2015.
- Wahl, M. (01.07.2015): Ökologisches Trassenmanagement in der Praxis - Ein Erfahrungsbericht nach 2 Jahrzehnten. Vortragsfolien zum Expertenworkshop „Ökologisches Trassenmanagement“ am 01./02.07.2015 in Bonn, veranstaltet von BNetzA und BfN. Online unter

[http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/Trassenmanagement/Uther.pdf;jsessionid=F17C88E09CE8EBC8397A43968627DFB6?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2015/Trassenmanagement/Uther.pdf;jsessionid=F17C88E09CE8EBC8397A43968627DFB6?__blob=publicationFile); Abruf 18.01.2016.

Wingas (16.09.2011): Trassenfreihaltung von Erdgashochdruckleitungen. Bewuchs durch Sträucher und Bäume im Schutzstreifen der Erdgashochdruckleitungen. Rodungs- und Freischnittarbeiten (Trassenfreihaltung). Präsentation.

Winkler-Hartenstein, K.; Buksdrücker, T. (2012): Ökologische Auswirkungen von Freileitungen und Erdkabeln auf die Schutzgüter. Vortrag zum Arbeitskreis 1 im Rahmen der Veranstaltung des Dt. Rates für Landespflege am 28.09.2012 in Berlin.

## 7.4 Rechtsquellen

26. BImSchV: Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16.12.1996, BGBl. I S. 1966; neugefasst durch Bekanntmachung vom 14.08.2013 (BGBl. I S. 3266).

BBodSchG | Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 101 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).

BBPIG | Bundesbedarfsplangesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490).

BfN | Bundesamt für Naturschutz (2011): Naturräume in Deutschland.

BNatSchG | Bundesnaturschutzgesetz vom 29.07.2009, BGBl. I, S. 2542, Inkrafttreten 10.01.2010; zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 21.01.2013 (BGBl. I S. 95).

BWaldG | Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt geändert durch Artikel 413 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I S. 1218).

EnLAG | Energieleitungsausbaugesetz (Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen) vom 21. August 2009, BGBl. I S. 2870; zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 23. Juli 2013, BGBl. I S. 2543.\*

EnWG | Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 07.07.2005, BGBl. I, S. 1970, berichtigt S. 3621, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490).

EÄG | Energieleitungsbau-Änderungs-Gesetz | Gesetz zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages vom 04.12.2015. Drucksache 595/15

LWaldG BW | Waldgesetz für Baden-Württemberg (Landeswaldgesetz - LWaldG) in der Fassung vom 31. August 1995, geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 23. Juni 2015 (GBl. S. 585, 613).

- NABEG | Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz vom 28. Juli 2011 (BGBl. I S. 1690), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490) geändert worden ist.
- SächsWaldG | Waldgesetz für den Freistaat Sachsen (SächsWaldG) vom 10. April 1992, rechtsbereinigt mit Stand vom 10. Mai 2007.
- Bundesgerichtsurteil vom 5. April 2011, Nr. 1C\_398/2010 zur 380/220 kV-Leitung Beznau-Birr , Teilstrecke Rüfenach (Mast Nr. 20 – Mast Nr. 37). Schweiz. Online unter relevancy.bger.ch/php/clir/http/index.php?lang=de&zoom=&type=show\_document&highlight\_docid=aff%3A%2F%2F137-II-266%3Ade; Abruf 30.04.2015.
- BNatSchG | Bundesnaturschutzgesetz vom 29.07.2009, BGBl. I, S. 2542, Inkrafttreten 01.01.2010; zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 21.01.2013 (BGBl. I S. 95).
- BBPIGneu | Bundesbedarfsplangesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543), zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490).
- BT-Drucksache 18/4655: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Gesetzentwurf der Bundesregierung vom 20.04.2015. Online unter <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/046/1804655.pdf>, zuletzt geprüft 30.04.2015.
- BT-Drucksache 18/6909: Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Wirtschaft und Energie (9. Ausschuss) zu dem Gesetzentwurf der Bundesregierung – Drucksachen 18/4655, 18/5581, 18/5976 Nr. 1.6 –Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus vom 02.12.2015.
- EÄG | Erstes Gesetz zur Änderung des Energieverbrauchskennzeichnungsgesetzes. BT-Drucksache 18/6383 vom 14.10.2015.
- EEG-Novelle 2014 | Gesetz zur grundlegenden Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und zur Änderung weiterer Bestimmungen des Energiewirtschaftsrechts vom 21.07.2014; Inkrafttreten ab 01.08.2014. BGBl. I Nr. 33, S. 1066 ff.
- EnLAG 2011: Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen (Energieleitungsausbaugesetz – EnLAG) vom 21.08.2009, BGBl. I, S. 2870; geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 07.03.2011 (BGBl. I, S. 338); zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490).
- EnLAG | Energieleitungsausbaugesetz (Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen) vom 21. August 2009, BGBl. I S. 2870; zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 23. Juli 2013, BGBl. I S. 2543.
- EnWG | Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz) vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2490)
- EnWG 2012: Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) vom 07.07.2005, BGBl. I, S. 1970, berichtigt S. 3621, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 16. Januar 2012 (BGBl. I S. 74).
- Gemeinsamer Runderlass Rohrleitungen NW (2002): Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung bei unterirdischen Rohrleitungen für nicht wassergefährdende Stoffe gemäß Land-

schaftsgesetz NRW (E Reg Rohrl Gas). Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr und des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. MBl Nr. 54 v. 25.10.2002, S. 1087.

NABEG | Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG) vom 28.07.2011, BGBl. I S. 1690, Inkrafttreten am 05.08.2011.

UVPG | Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.02.2010, BGBl. I S. 94, zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 28.07.2011, BGBl. I S. 1690.

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. März 2016 (BGBl. I S. 382) geändert worden ist.

## 7.5 Planungs- und Genehmigungsunterlagen

Kürzel	Projektunterlagen, v. a. Planungs-, Genehmigungsunterlagen und wiss. Begleitstudien
Ganderkesee – St. Hülfe	
DE2	<p>TenneT (2010a): Erläuterungsbericht 380-kV-Leitung Ganderkesee - St. Hülfe Nr. 309.</p> <p>TenneT (2010b): Übersichtskarten Antragstrassen. TenneT 2014: Wichtiger Meilenstein für Ganderkesee – St. Hülfe: Behörde erörtert Stellungnahmen mit TenneT und Beteiligten. Pressemitteilung 25.04.2014. Online: <a href="http://www.tennet.eu/de/news-presse/article/wichtiger-meilenstein-fuer-ganderkesee-st-huelfe-behoerde-eroertert-stellungnahmen-mit-tennet.html">http://www.tennet.eu/de/news-presse/article/wichtiger-meilenstein-fuer-ganderkesee-st-huelfe-behoerde-eroertert-stellungnahmen-mit-tennet.html</a></p> <p>Planungsgruppe Landespflege (2011): Planfeststellungsverfahren gemäß § 43 EnWG Neubau einer 380-kV-Leitung Ganderkesee – St. Hülfe Nr. 309 - Allgemein verständliche Zusammenfassung der Unterlage nach § 6 UVPG</p>
Diele – Niederrhein ; Abschnitt Raesfeld	
DE4	<p>ERM (2011): Neubau der 280-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 / Neubau des 380-kV-Höchstspannungskabels KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230. Umweltstudie.</p> <p>Amprion (2011): Neubau der 280-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 / Neubau des 380-kV-Höchstspannungskabels KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230. Erläuterungsbericht</p> <p>RegioKonzept (2011): Artenschutzrechtliche Betrachtung gemäß §44 BNatSchG. Bl. 4201 Abschnitt Pkt. Bredenwinkel – Pkt. Borken Süd / KBl. 4230: KÜS Löchte – KÜS Diestegge.</p> <p>Jungnitz (28.01.2015): Interview mit Ludger Jungnitz, Amprion GmbH, Projektleiter für den EK-Abschnitt Raesfeld, am 28.01.2015 in Berlin</p>
Diele – Niederrhein ; Abschnitt Borken Nordvelen	
	<p>Amprion u. Westnetz (2014): Erläuterungsbericht zum Planfeststellungsverfahren für den Neubau der 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 Abschnitt: Pkt. Borken Süd – Pkt. Nordvelen. Anlage 1.</p> <p>Terra Planta (2014): Auswirkungen der Wärmeemission von Höchstspannungserdkabeln auf den Boden und auf landwirtschaftliche Kulturen. Gutachten zum Planfeststellungsverfahren. für den Neubau der 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 Abschnitt: Pkt. Borken Süd – Pkt. Nordvelen. Anlage 23.</p>
SUEDLINK (Wilster-Grafenrheinfeld)	
DE	<p>TenneT (2014a): Antrag nach § 6 NABEG – Projekt Höchstspannungsleitung Wilster - Grafenrheinfeld, SuedLink. Bearbeitet von Froelich &amp; Sporbeck, IBUE, LTB Leitungsbau. Abruf April 2015.</p> <p>TenneT (2014b): Anhang II - Projektimmanente Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen.</p> <p>TenneT (2014c) Schematischer Entwurf SuedLink.</p>
BorWin3	
	<p>NLStV (2015): Planfeststellungsbeschluss für die Netzanbindung BorWin3 der Offshore-Plattform BorWin gamma mittels einer 600-kV-Gleichstromleitung – Landtrasse.</p> <p>TenneT (2011): Machbarkeitsstudie BorWin3/DolWin3 - Anlandepunkt Campen bis Umspannwerk Emden/Ost.</p> <p>TenneT (2012): BorWin3/DolWin3 - Anlandepunkt Campen bis Umspannwerk Emden/Ost Bauausführung - Baubeschreibung und Erläuterungen Landkabeltrasse.</p> <p>TenneT (2013a): Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost – Landtrasse.</p>

	<p>TenneT (2013b): Natura 2000 - Verträglichkeitsstudie zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost - Landtrasse.</p> <p>Tennet (2014a): Allgemeinverständliche Zusammenfassung der UVP gemäß § 6 UVPG zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost –Landtrasse.</p> <p>Tennet (2014b): Landschaftspflegerischer Begleitplan zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost -Maßnahmenblätter – Landtrasse.</p>
Aalborg – Århus , Abschnitt Indkilledalen	
DK1	<p>Nordjyllands Amt u. Arhus Amt (2000): 400 kV Højspændingsledning Aalborg – Århus. Vurdering af Virkninger på Miljøet (UVS).</p> <p>Nordjyllands Amt (2001): Regionplantillæg nr. 34 400kV – Højspændingsforbindelse Vendsysselværket – Trige.</p> <p>ELTRA (2002): 400 kV-forbindelsen Århus-Aalborg. Kabelstrækninger: Gudenådalen, Mariager Fjord, Indkilledalen. ARGAUT u. MIKKELSEN 2003: New 400 kV Underground Cable System Project in Jutland (Denmark). In: JICABLE '03 - International Conference on Insulated Power Cables.</p> <p>energinet.dk (2014): Sådan lægger vi højspændingskabler.</p> <p>energinet.dk: 400 KV Cable Project - Videos und Transkriptionen unter <a href="http://www.languages.dk/digital/indexEN.html">http://www.languages.dk/digital/indexEN.html</a></p>
Zuidring; Abschnitt Wateringen - Zoetermeer	
NL2	<p>Minister van Economische Zaken (MEZ) u. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009a): Inpassingsplan Zuidring Wateringen – Zoetermeer (380 kV Leiding) – Vaststellingsbesluit.</p> <p>Minister van Economische Zaken (MEZ) u. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009b): Randstad 380 kV verbinding Wateringen-Zoetermeer Ontwerp – Rijksinpassingsplan</p> <p>Minister van Economische Zaken (MEZ) u. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009c): Randstad 380 kV verbinding Wateringen-Zoetermeer - Milieueffectrapport (UVP). 2009.</p> <p>TAUW (2009): Achtergrondrapport bodem en water MER Zuidring Randstad 380</p> <p>TAUW (2008): Bodemonderzoek project 'Randstad 380' traject Wateringen-Zoetermeer.</p> <p>ENERGY SOLUTIONS 2014: Watergang passage sectie 7. Online: <a href="http://www.ensol.nl/wp-content/uploads/2013/12/100_1766-Watergang-passage-sectie-7.jpg">http://www.ensol.nl/wp-content/uploads/2013/12/100_1766-Watergang-passage-sectie-7.jpg</a></p> <p>Heidemij / Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij (1983): Bodembeschermende voorzieningen tegen de warmteafgifte van ondergrondse kabels en leidingen (online nicht auffindbar).</p>

## 8 Anhang

### 8.1 Steckbriefe ausgewählter Erdkabelprojekte in Deutschland und im europäischen Ausland

#### 8.1.1 380-kV-HDÜ Projekte in Deutschland

DE 1	HDÜ-Verbindung Ganderkeseesee – St. Hülfe
Abb. 1: Verlauf der Kabelabschnitte (TenneT 2010b)	
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Ems-Elbe-Gebiet, Verlauf s. Abb. 1</p> <p>Gesamtlänge der Leitung Ganderkeseesee - Wehrendorf 94 km (bis St. Hülfe 61 km)</p> <p>Erdkabelabschnitte:</p> <p>UW Ganderkeseesee – KÜA Ganderkeseesee Süd</p> <p>KÜA Havekost - KÜA Klein Henstedter Heide</p> <p>Länge Kabelabschnitte: 6,9 km (3,7 km + 3,2 km)</p> <p>Alternativplanung für die Trasse enthält 5 weitere Erdkabelabschnitte</p>	<p><b>Technische Merkmale</b></p> <p>Zwölf 380 kV-VPE-HDÜ-Kabel, Verlegung in Kabelschutzrohren</p> <p>Übertragungsfähigkeit 2.500 MW</p> <p>2 Systeme mit je 2 mal 3 Phasen parallel geschaltet</p> <p>Abstand Einzelkabel: 0,6 m</p> <p>Schutzstreifenbreite: 15,5 m / 21 m (s. Abb. 2)</p> <p>Kabelgrabentiefe 1,75 m, Verlegetiefe: 1,50 m</p> <p>Unterirdische Bauweise bei Querung von klassifizierten Straßen</p>
<p><b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b></p>	

Anstehende Böden im Projektgebiet sind Geestböden und grundwasserbeeinflusste Böden der Bach- und Flussauen, teilweise mit Niedermoorauflage

Es ist vorgesehen, die Kabel in Kabelschutzrohren zu verlegen.

**Bettungsmaterial:**

„Nach derzeitigem Kenntnisstand kann auf thermisch stabilisiertes Bettungsmaterial verzichtet und der vorhandene Bodenaushub als Bettungsmaterial und zur Wiederverfüllung verwendet werden. Allerdings wird durch Bodenuntersuchung im Rahmen der Ausführungsplanung verifiziert, ob der Einsatz von thermisch stabilisiertem Bettungsmaterial erforderlich wird.“ (Planungsgruppe Landespflege 2011)

**Bodenerwärmung:**

„Im Umfeld des Erdkabels wird es zu einer Bodenerwärmung kommen. Berechnungen der Wärmeabführung haben ergeben, dass unter ungünstigen Bedingungen die Kabelerwärmung 10 cm unter der Erdoberfläche eine Temperaturerhöhung um 3,6° C bewirkt. Die Bodenerwärmung wird oberflächennah in einer Größenordnung liegen, die dem natürlichen Schwankungsbereich der jahreszeitlich bedingten Veränderung der Bodentemperatur entspricht.“  
 „Die Bodenerwärmung wird nicht zu einer Erhöhung der Wassertemperatur des Fließgewässers Geestmoorgraben führen, weil aufgrund des Abstands der Kabel zur Gewässersohle (> 1,5 m) der Boden im Bereich der Gewässersohle allenfalls minimal erwärmt wird und außerdem die zugeführte Wärme unmittelbar durch das Fließgewässer abgeführt werden würde.“ (ebd.)

**Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen**

Ökologische Baubegleitung ist vorgesehen.

**Monitoring**

Technisches Monitoring: „Durch ein Monitoring der Technischen Universität Delft sowie des Instituts für Energieversorgung und Hochspannungstechnik der Universität Hannover soll die Technik in Kooperation mit dem Kabelherstellerverband Europacable weiterentwickelt und in spätere Projekte integriert werden.“ (TenneT 2014)

Informationen, ob ein ökologisches Monitoring (Erwärmung, Bodenfeuchte) geplant ist, liegen nicht vor.

**Nutzung / Gestaltung der Trasse**

Bisherige Nutzung: Vorwiegend Landwirtschaft (Ackerbau und Grünland)

Nachnutzung: Kabeltrasse muss von Bebauung und tiefwurzelnden Pflanzen (Wurzeltiefe > 1 m) freigehalten werden, bei Querungen von Waldgebieten sowie Baumreihen und Feldhecken ist deshalb eine Schneise erforderlich (vgl. Planungsgruppe Landespflege 2011).

**Ansprechpartner**

TenneT (Betreiber niedersächsischer Abschnitt): Inga Wilken inga.wilken@TenneT.eu	Planungsgruppe Landespflege (Naturschutzfachlicher Beitrag) Dr. Ilse Albrecht, Planungsgruppe Landespflege	NLStV-Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Genehmigungsbehörde)	TU Delft / Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik der Universität Hannover (Elektrotechnisches Monitoring)
---	---	---	---

**Zeitlicher Ablauf**

2006	Ende 2012	März 2016
Abschluss ROV	Beginn PFV	PFB erlassen

## Quellen und verfügbare Dokumente

Planungsgruppe Landespflege (2011): Planfeststellungsverfahren gemäß § 43 EnWG Neubau einer 380-kV-Leitung Ganderkesee – St. Hülfe Nr. 309 - Allgemein verständliche Zusammenfassung der Unterlage nach § 6 UVPG

TenneT (2010a): Erläuterungsbericht 380-kV-Leitung Ganderkesee - St. Hülfe Nr. 309.

TenneT (2010b): Übersichtskarten Antragstrassen.

TenneT (2014): Wichtiger Meilenstein für Ganderkesee – St. Hülfe: Behörde erörtert Stellungnahmen mit TenneT und Beteiligten. Pressemitteilung vom 25. 04.2014.

TenneT (o.J.): Die 380-kV-Leitung Ganderkesee – St. Hülfe - Ein Meilenstein für den Transport von Windenergie. Broschüre.

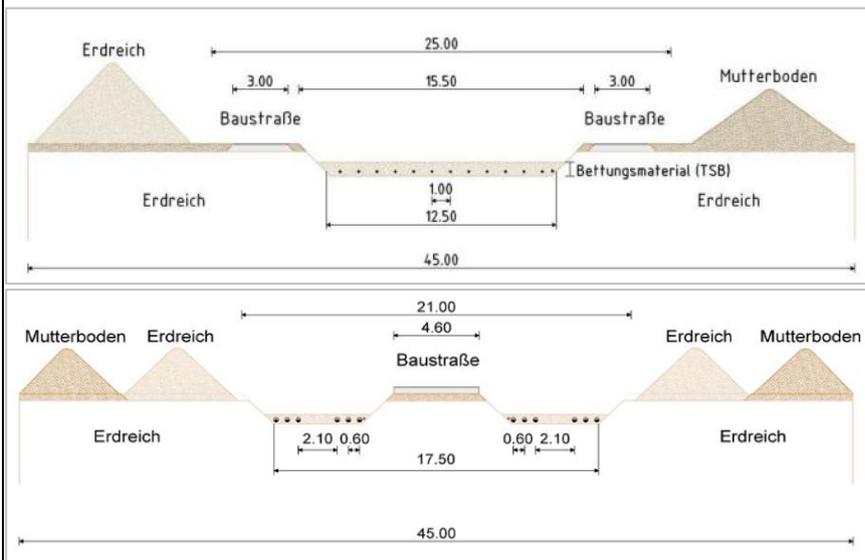


Abbildung 2: Regelgrabenprofile (oben: Planungsgruppe Landespflege, unten: TenneT2010a)

DE 2	<b>HDÜ-Verbindung Dörpen-West – Niederrhein, Abschnitt 2 „Bredenwinkel – Borken Süd; – Erdkabelabschnitt KÜS Löchte – KÜS Diestegge (Raesfeld)</b>	
<b>Lage / Verlauf</b>		
<p>Abschnitt 2 der Leitung Dörpen-West-Niederrhein (EnLAG Nr. 5)</p> <p>Abschnitt 2 = Bredenwinkel – Borken Süd</p> <p>Pilottrasse für Erdverkabelung wegen Siedlungsannäherung</p> <p>Erdkabelabschnitt von KÜS Löchte bis KÜS Diestegge (bei Raesfeld), Länge: 3,4 km (Abb.1)</p> <p>Bau in Trasse einer rückgebauten 220 kV-Leitung</p>		Abb. 1 Übersichtsplan
<b>Technische Merkmale</b>		
<p>380-kV-VPE-Kabel, Leistung: 3.600 MW</p> <p>Verlegung in Kabelschutzrohren</p> <p>Zwei Systeme in 2 getrennten Kabelgräben (Abstand der Kabelgräben: 9,6 m)</p> <p>Je System 2 Kabelanlagen (Achsabstand 2,1 m) à 3 Leiter (Achsabstand 0,6 m)</p> <p>Kabelgraben-Sohlbreite: 2 x 5 m</p>	<p>Schutzstreifenbreite: 23 m (Abb. 2)</p> <p>Verlegetiefe: 1,8 m</p> <p>Sicherung durch Betonplatten (mechanische Sicherung) und breites Maschendrahtgeflecht</p> <p>Fünf Muffen je Phase (nach Fertigstellung unterirdisch), zwei Crossbonding Muffen</p>	
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>		
<p>Bodenschutzkonzept mit örtlichen Landwirten erarbeitet, geprüft von Prof. Weyer, FH Südwestfalen</p> <p>Flüssigboden (50 cm)</p> <p>Feldversuch bei Osterath (110 kV): Flüssigboden als das im Hinblick auf die Wärmeableitung leistungsfähigste Material (verglichen mit Magerbeton und Sand)</p> <p>Mischung aus anstehendem Boden mit 4 % Tonmineralien, 2 % Zement und Wasser, konkrete Zusammensetzung abhängig von den örtlichen Bedingungen (5 verschiedene Rezepturen verwendet)</p> <p>Betonfertigteile zur Verhinderung des Aufschwemmens der Kabelschutzrohre</p> <p>„Das Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg und das Institut für Energietransport und -speicherung der Universität Duisburg-Essen untersuchten im Auftrag der Amprion GmbH die Auswirkungen der Wärmeemissionen von Höchstspannungskabelanlagen auf das Ökosystem Boden. [...] Danach sind nach derzeitigem Stand durch das Kabel keine wärmebedingten Auswirkungen auf das Ökosystem Boden zu erwarten.“ (Amprion 2011)</p> <p>„Auswirkungen durch Bodenerwärmung aufgrund der Wärmeemissionen des Erdkabels werden als vernachlässigbar eingestuft [...]“ (ERM 2011)</p>		

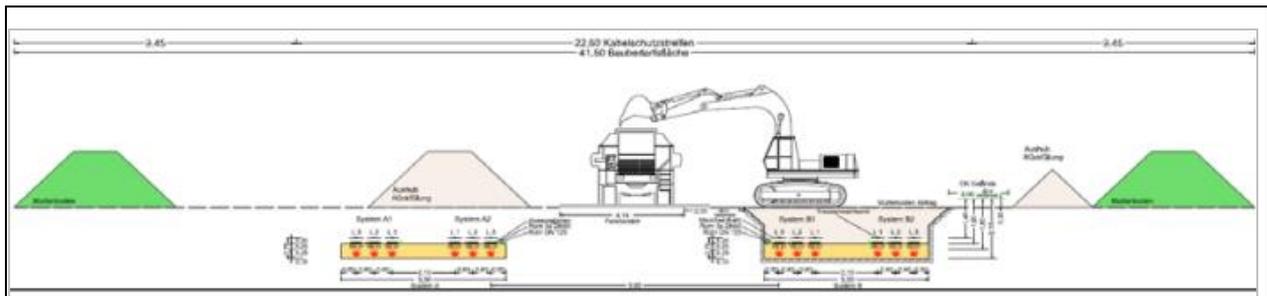


Abb. 2: Grabenprofil mit Regelquerschnitt (Amprion 2011)

### Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Bauzeit: Juni – Oktober 2014; Fortsetzung/Fertigstellung (Oberbodenauftrag) April-Mai 2015

Ökologische und Bodenkundliche Baubegleitung

Baubesprechungen unter Beteiligung der Gutachter und lokaler Stakeholder; hohe Transparenz

Maßnahmen:

Schichtweiser Aushub und Lagerung, Rückverfüllung des Bodens (Mehrbedarf Lagerplatz)

Einbau von Flüssigboden als Bettungsmaterial unter Nutzung des anstehenden Bodens

Wiederherstellung der ursprünglichen Bodenstruktur; dazu war eine Kalkung und Behandlung des Aushubs mit „Separatoren“ zur Herstellung einer krümeligen Struktur erforderlich

Vermeidung von Bodenverdichtungen (Platten, Baustopp bei hoher Bodenfeuchte)

Tiefendrainage des Kabelgrabens („pfützenfrei halten“)

Maßnahmen gingen über die naturschutzrechtlich / bodenschutzrechtlich zu begründenden Vorkehrungen hinaus und sollten vor allem zu einer hohen Akzeptanz des Projektes bei den betroffenen Landwirten führen (Jungnitz 2015, mündlich).

### Monitoring

Technisches Monitoring

Temperaturmonitoring: Wärmemessung zur Ermittlung der Kabelerwärmung in Abhängigkeit von der Belastung durch in der Kabelbeschichtung integrierte Glasfaserleiter

Teilentladungsmonitoring an den Kabelendverschlüssen und den Verbindungsmuffen im Betriebszustand

Ökologisches Monitoring (Auswirkungen auf Boden und Wasserhaushalt; Ertragsfähigkeit)

ca. 1.000 Wärmesonden (Messfühler) auf einer Versuchsfläche in den Kabelgraben integriert, messen die vertikale Wärmeausbreitung, beginnend 10 cm unterhalb der Grabensohle im Abstand von 10 cm (Untersuchung: Prof. Trüby)

Anlage von Test- und Vergleichsfeldern, um Unterschied im Pflanzenwachstum zu untersuchen, Messung von Temperatur, Vermehrung von Mikro-Organismen im Bereich der Stromleitungen (Wetzel 2014)

<b>Nutzung / Gestaltung der Trasse</b>					
<p>Bisherige Nutzung: Verlauf in Trassenraum von rückgebauter 220 kV-Leitung</p> <p>Erdkabel verläuft ausschließlich über landwirtschaftlich genutzte Flächen und quert hierbei mehrere Straßen</p> <p>Nachnutzung: Landwirtschaftliche Nutzung, parzellenscharfe Freigabe durch Bodengutachter</p> <p>bodenschonende Bauweise (feinkrümeliger Einbau) ohne mechanische Verdichtung des Bodens - Befahrbarkeit nach Fertigstellung der Trasse ohne Einsacken? (Jungnitz 2015, mündlich)</p> <p>„Im Bereich des Schutzstreifens darf weder gebaut noch dürfen tiefwurzelnde Bäume gepflanzt werden. Schwachwurzelnde Sträucher sind insoweit zulässig, dass im Bedarfsfall die Zugänglichkeit und ggf. Tiefbauarbeiten im Bereich des Schutzstreifens jederzeit möglich sind.“ (Amprion 2011)</p>					
<b>Ansprechpartner</b>					
Amprion (Betreiber)	Geonovo (Bodenkundliche Baubegleitung)	Prof. Dr. Trüby 07622 / 9203 peter.trueby@bodenkunde.uni-freiburg.de	ERM (Naturschutzfachlicher Beitrag)	Bezirksregierung Münster (Genehmigungsbehörde)	
Dr. Stefan Lütgens (Projektkommunikation) 0231/5849-1293	0491-45420990	Prof. Weyer (Bodenschutzkonzept), weyer.thomas@fh-swf.de	Siemsstraße 9 63263 Neu-Isenburg 06102/206-0	Adelheid Wecke-Behnert 0251-411-1439	
<b>Zeitlicher Ablauf</b>					
04/2010	01/2012	02/2014	04/2014	05/2015	2020
Scoping	PFV	PFB	Baubeginn	Fertigstellung	Inbetriebnahme /Fertigstellung Freileitungsteil
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>					
<p>Amprion (2011): Neubau der 280-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 / Neubau des 380-kV-Höchstspannungskabels KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230. Erläuterungsbericht</p> <p>Amprion (o.J.): Wesel-Meppen. Online: <a href="http://www.amprion.net/netzausbau/wesel-meppen-hintergrund">http://www.amprion.net/netzausbau/wesel-meppen-hintergrund</a> [abgerufen: 13.04.15]</p> <p>Baublatt (2015): Ingenieurarbeit für die Energiewende - Köster-Tiefbau-Spezialisten entwickeln neues Verfahren, um Erdkabel zu verlegen. In: Deutsches Baublatt Nr. 378 Januar   Februar 2015. Online: <a href="http://www.baublatt.de/archiv/2015_1/23.pdf">http://www.baublatt.de/archiv/2015_1/23.pdf</a> [abgerufen: 13.04.15]</p> <p>Bosse, P. (2014): Ortstermin mit Studenten – Arbeiten an 380-kV-Leitung gut angelaufen. Online: <a href="http://www.dorstenerzeitung.de/staedte/raesfeld/Ortstermin-mit-Studenten-Arbeiten-an-380-kV-Leitung-gut-angelaufen;art4288,2391813">http://www.dorstenerzeitung.de/staedte/raesfeld/Ortstermin-mit-Studenten-Arbeiten-an-380-kV-Leitung-gut-angelaufen;art4288,2391813</a> [aktualisiert: 27.06.14] abgerufen: 13.04.15]</p>			<p>ERM (2011): Neubau der 280-kV-Höchstspannungsfreileitung Wesel – Pkt. Meppen, Bl. 4201 / Neubau des 380-kV-Höchstspannungskabels KÜS Löchte – KÜS Diestegge, KBl. 4230. Umweltstudie.</p> <p>Jungnitz, L. (2015): Interview mit Ludger Jungnitz von Amprion am 28.01.2015. RegioKonzept 2011: Artenschutzrechtliche Betrachtung gemäß §44 BNatSchG. Bl. 4201 Abschnitt Pkt. Bredenwinkel – Pkt. Borken Süd / KBl. 4230: KÜS Löchte – KÜS Diestegge.</p> <p>Schneller, C. (2015): Netzausbau &amp; Boden - Perspektiven eines Netzbetreibers. Vortrag zur Tagung Boden und Energiewende, 12.03.2015, Hannover. Online: <a href="http://cms2.niedersachsen.de/aktuelles/veranstaltungen/veranstaltungsberichte/tagung-endergiewende-am-12032015-tagungsbericht-132218.html?_psmand=4">http://cms2.niedersachsen.de/aktuelles/veranstaltungen/veranstaltungsberichte/tagung-endergiewende-am-12032015-tagungsbericht-132218.html?_psmand=4</a> [abgerufen: 13.04.15]</p> <p>Wetzel, D. (2014): Hier entsteht die unsichtbare Stromautobahn. Online: <a href="http://www.welt.de/wirtschaft/energie/article132723021/Hier-entsteht-die-unsichtbare-Stromautobahn.html">http://www.welt.de/wirtschaft/energie/article132723021/Hier-entsteht-die-unsichtbare-Stromautobahn.html</a> [aktualisiert: 29.09.14] abgerufen: 13.04.15]</p>		

DE 3

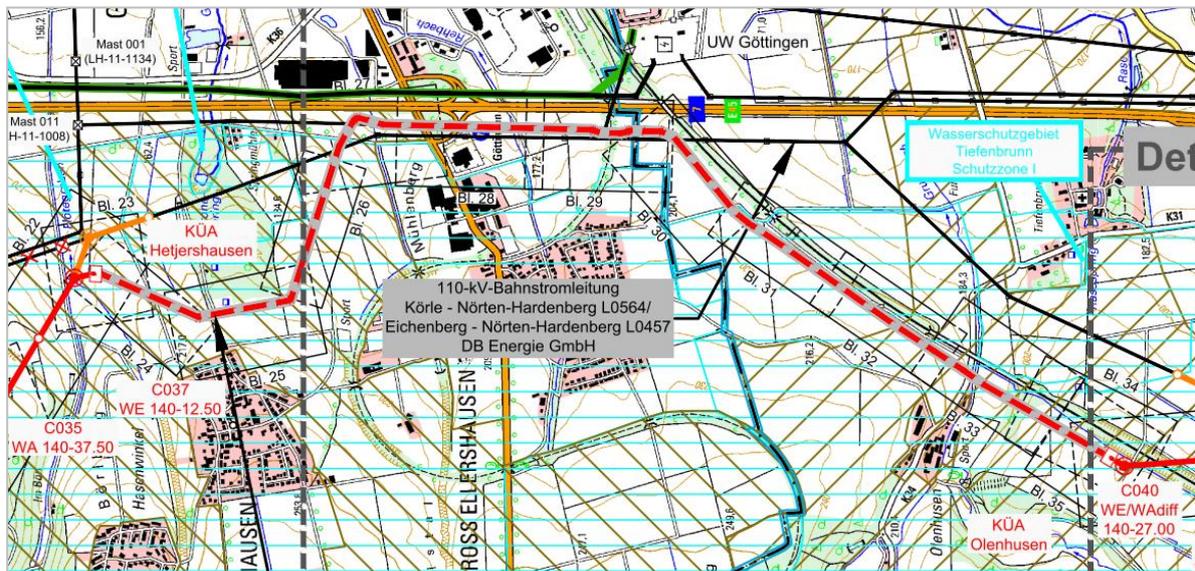
**Kabelabschnitt Hetjershausen-Olenhusen im Teilabschnitt C der 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar**


Abb. 1 Trassenverlauf Erdkabelabschnitt (TenneT 2014b)

Lage / Verlauf	Technische Merkmale
<p>Im Teilabschnitt C der Leitung Wahle-Mecklar KÜS Hetjershausen – KÜS Olenhusen Gemeinde Rosdorf, südwestlich der Stadt Göttingen Länge: 5,5 km (gesamte Länge: 69,1 km) Ersatzneubau für bestehende 220 kV-Leitung, Nutzung bestehender Trassen</p>	<p>380-kV-VPE-Kabel, 2 Systeme, 12 Einzelkabel Verlegetiefe: 1,6 m Schutzstreifenbreite: 23 m, im Gehölzbereich 25 m Geschlossene Bauweise bei der Querung von Straßen, Bahndämmen und Liniengewässern Realisierbare Lieferlänge von 1000 m Verlegung in Kabelschutzrohren</p>
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>	
<p>Soweit erforderlich wird Flüssigboden verwendet.</p> <p>„Im Normalbetrieb treten Temperaturen unter 40 °C an der Kabeloberfläche auf, in Spitzenzeiten bis maximal 75 °C. Die maximal zulässige Temperatur an der Leiteroberfläche beträgt 90 °C. Diese wird im Regelbetrieb jedoch nie erreicht. Abweichend von der normalen Legetiefe von 1,60 m befinden sich die Kabel in den Unterdückerungsbereichen in einer Tiefe zwischen etwa 2 m bis 11 m. Der Bereich der Wärmeemission des Erdkabels ist auf die unmittelbare Umgebung des Erdkabels beschränkt, die seitlichen Auswirkungen beschränken sich auf eine Breite von 3 bis 5 m unmittelbar oberhalb der Trasse und liegen somit innerhalb des Schutzstreifens (TRÜBY &amp; ALDINGER 2013).“ (TenneT 2015a)</p> <p>Derzeit gibt es keine Hinweise, dass sich ein möglicher geringfügiger Anstieg der Bodentemperaturen in erheblicher Weise auf die betroffene Vegetation und Habitate auswirken könnte. Dieser Wirkfaktor wird daher als vernachlässigbar eingestuft.“ (ebd.)</p>	

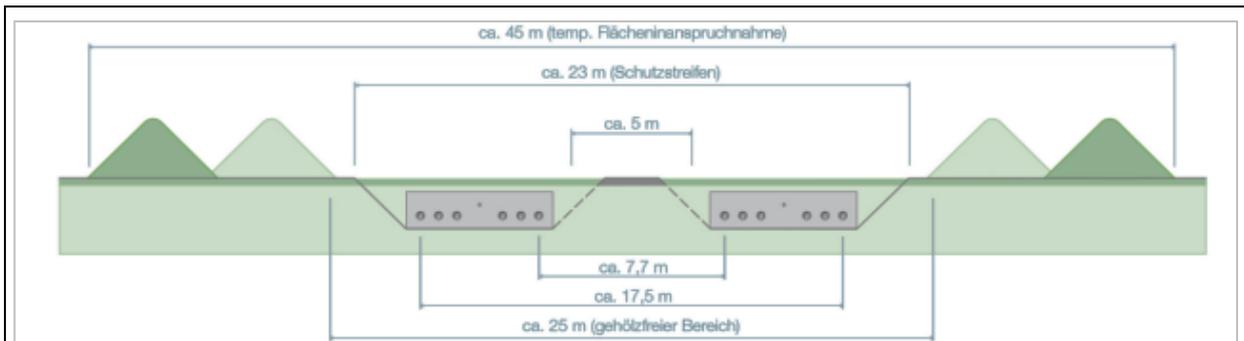


Abb. 2 Regelgrabenprofil (TenneT 2014a)

### Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Bodenkundliche Baubegleitung vorgesehen, Berücksichtigung des Leitfadens vom Bundesverband Boden e.V. zur Bodenkundlichen Baubegleitung

Beim Einsatz von Flüssigboden werden repräsentative Eluat-Analysen der jeweiligen Mischungen vorgenommen und der zuständigen Fachbehörde vor Einbau vorgelegt.

### Monitoring

Im Rahmen der kontinuierlichen Bauüberwachung ist ein Monitoring über stoffliche Austräge und zur Temperaturveränderung an der Oberfläche vorgesehen.

### Nutzung / Gestaltung der Trasse

Größtenteils Ackerflächen, kleinflächig Grünland; Wald- und Gehölzbestände oder mehrjährige holzige Kulturen sind nicht betroffen.

Im Bereich des Schutzstreifens (außer im Bereich der Unterdükerungen) dürfen keine tiefwurzelnden Anpflanzungen vorgenommen werden

„Der Schutzbereich wird bestimmt durch die baulichen Abmessungen der Kabelanlage im Betriebszustand sowie die durch die Betreiberrichtlinien festgelegte Schutzstreifenbreite rechts und links der Leitungsachse (jeweils 2,75 Meter von den äußeren Phasen). Kabelgefährdende Anlagen und Bäume, Sträucher und Wurzeln dürfen im Kabelschutzbereich nicht errichtet bzw. belassen werden.“

### Ansprechpartner

TenneT (Betreiber)  
Maren Seiffert  
0921/50740-4851  
maren.seiffert@tennet.de

ERM (Naturschutz-fachlicher Beitrag)  
Siemsstraße 9  
63263 Neu-Isenburg  
06102/206-0

NLStV-Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (Genehmigungsbehörde)

### Zeitlicher Ablauf

2011

03/2015

2018

ROV abgeschlossen

PFV eröffnet

Inbetriebnahme geplant

## Quellen und verfügbare Dokumente

Tennet (2014a): Erläuterungsbericht – Anlage 1. 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen-UW Mecklar, LH-11-3040 Teilabschnitt C: UW Hardeggen-Landesgrenze NI/HE.

Tennet (2014b): Übersichtsplan. 380-kV-Leitung Wahle – Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen - UW Mecklar, LH-11-3040. Teilabschnitt C: UW Hardeggen - Landesgrenze NI/HE. Anlage 2.1

TenneT (2015a): Umweltstudie: Textteil (UVS, LBP) und Anhänge – Anlage 12. 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen-UW Mecklar, LH-11-3040 Teilabschnitt C: UW Hardeggen - Landesgrenze NI/HE.

TenneT (2015b): Hydrogeologisches Fachgutachten für den Bereich der Wasserwerke Springmühle und Tiefenbrunn bei Göttingen - Bericht.

TenneT (2015c): Artenschutzrechtliche Betrachtung gemäß §44 BNatSchG – Anlage 16. 380-kV-Leitung Wahle – Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen - UW Mecklar, LH-11-3040. Teilabschnitt C: UW Hardeggen - Landesgrenze NI/HE.

TenneT (2015d): Natura 2000 Verträglichkeitsstudie – Anlage 15. 380-kV-Leitung Wahle – Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen - UW Mecklar, LH-11-3040. Teilabschnitt C: UW Hardeggen - Landesgrenze NI/HE.

TenneT (2015e): Umweltstudie - ANHANG B - LBP-Maßnahmen. 380-kV-Leitung Wahle – Mecklar Abschnitt: UW Hardeggen - UW Mecklar, LH-11-3040. Teilabschnitt C: UW Hardeggen - Landesgrenze NI/HE.

<b>DE 4</b>	<b>380-kV-Leitung Koblenz-Kelsterbach GIL-Erdkabel am Flughafen Frankfurt</b>
-------------	---

<b>Lage / Verlauf</b>	<b>Technische Merkmale</b>
Teil der Leitung Koblenz – Kelsterbach Erdkabel in Nähe Flughafen Frankfurt Anbindung Freileitung an UW/ Schaltanlage Verkabelung mit wartungsfreier GIL war erforderlich, um Behinderungen des Flugverkehrs auszuschließen Länge knapp 1 km	380-kV-GIL (Gasisolierte Übertragungsleitung) 2 Systeme à 3 Rohre maximale Übertragungsleistung 1800 MVA je System 3800 m <sup>2</sup> große Übergabestation Kabelgrabenbreite 7,1 m Besondere technische Anforderungen: Ultraschallprüfung der Rohre auf Dichtheit bei der Montage Kunststoffbeschichtung der Nähte

**Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung**

erste direkte Verlegung einer gasisolierten Leitung in die Erde; Bettung in Sand (Höhe Sandbett insgesamt 0,9 m); Aufgrund geringer Erwärmung kein Einbringen besonders wärmeleitfähiger Bettung erforderlich; Wiederauftragen des ursprünglichen Mutterbodens

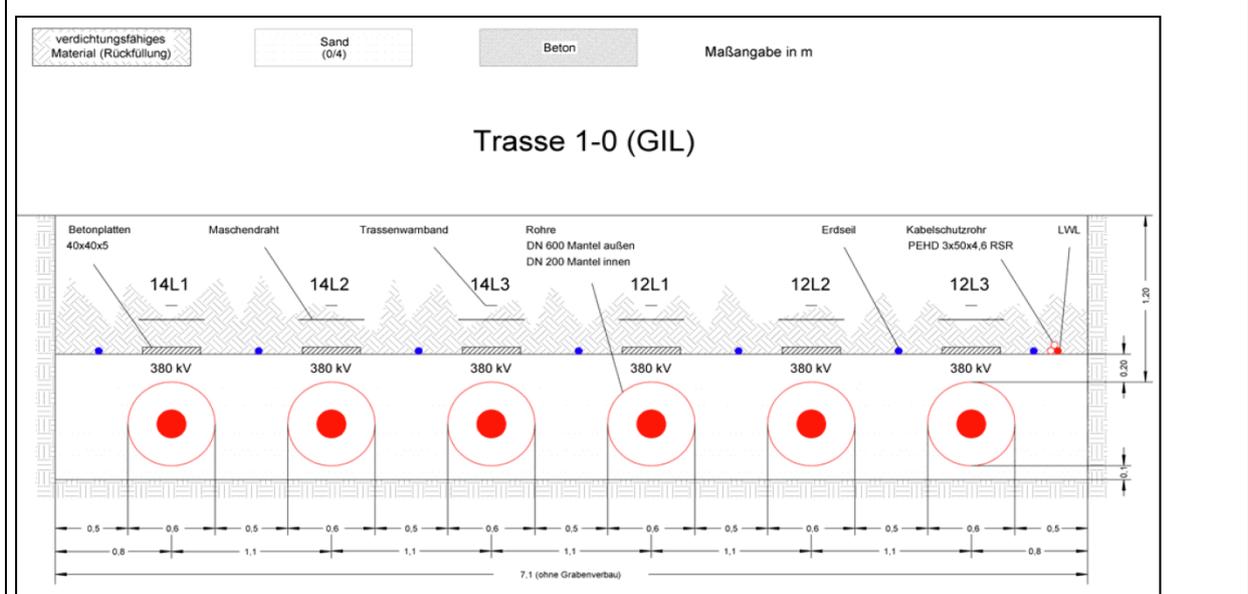


Abb. 1 Kabelgrabenprofil (FRAPORT & RWE 2004)

**Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen**

Keine Informationen verfügbar.

**Nutzung/Gestaltung der Trasse**

Keine Informationen verfügbar.

## 8.1.2 380-kV-HDÜ Projekte im Ausland

DK 2c	400-kV Leitung Aalborg – Aarhus, Abschnitt Skudshale-Gistrup HDÜ-Erdkabelabschnitt „Indkildedalen“
-------	--



Abb. 1 Trassenverlauf 400-kV-Erdkabel Indkildedalen (Eltra 2002)

Lage / Verlauf	Technische Merkmale
<p>Leitung Aalborg-Aarhus (117 km); 3 Kabelabschnitte (insgesamt 14,5 km),</p> <p>Verkabelung wegen Landschaftsbildbeeinträchtigung, Siedlungsnähe und Druck von politischer Seite und Protestgruppen</p> <p>Abschnitt Skudshale-Gistrup (Indkildedalen): 7,5 km</p> <p>Erster Abschnitt verläuft durch Wassereinzugsgebiet und durch eine Plantage, Wachstumsbedingungen durch oberflächennahe Kreideschicht im Boden sehr ungünstig (Argaut &amp; Mikkelsen 2003).</p> <p>Der restliche Streckenverlauf führt durch das flache und feuchte Indkilde-Tal.</p>	<p>400 kV-VPE Kabel mit Aluminiumkern (Leitergröße 1200 mm<sup>2</sup>), Leistung 1200 MW</p> <p>Verlegt in Kabelgraben (Kabelsohle bei 1,5 m, Oberkante Kabel bei 1,2 m) zusammen mit einem 150 kV-System</p> <p>Abstand zwischen den 2 Systemen: 6 m,</p> <p>Abstand zwischen einzelnen Kabeln: 35 cm</p> <p>Insgesamt 20 m breite Trasse (vgl. Abb. 16)</p> <p>Über dem Kabel: Drainagerohre, Kunststoffabdeckplatten und rotes Warnnetz)</p> <p>Unterbohrung von Schienenwegen und Straßen, dort Verlegung der Kabel in Kunststoffrohren</p> <p>8 Muffen, liegen direkt im Boden, befestigt auf einer Betonplatte</p>

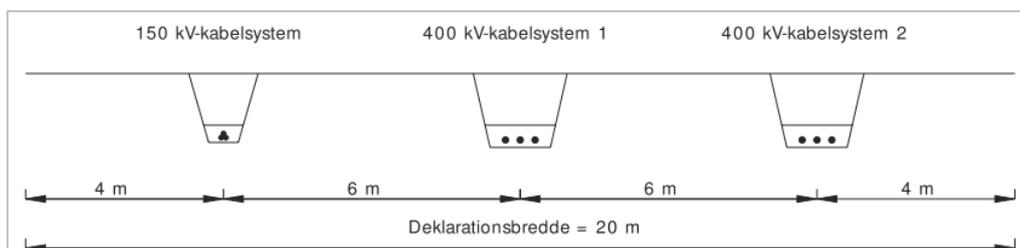


Abb. 2 Querschnitt durch einen Kabelgraben (Argaut & Mikkelsen 2003)

## Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung

Insgesamt 0,5 m Sand als Bettungsmaterial

Eventuell Zugabe von Zement zur Feuchtigkeitsspeicherung und Kühlung der Kabel

Im Bereich der Unterbohrungen, in denen die Kabel in Rohre eingezogen sind, werden die Rohre mit Bentonit gefüllt.

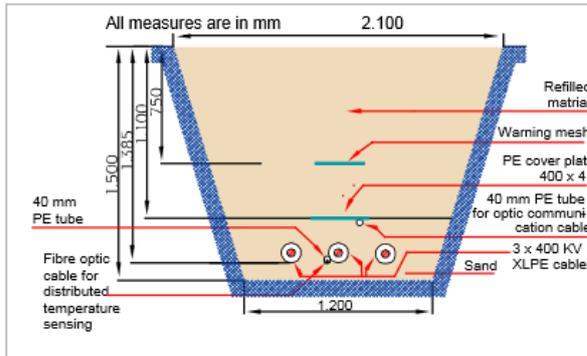


Abb. 3 Kabelgraben (Eltra 2002)

## Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Verlegung von Stahlplatten als Arbeitsstraße

Trennung von Ober- und Unterboden

Archäologische Untersuchungen, Untersuchungen der Deponien, geotechnische Untersuchungen

miljøledelsesplan (Umweltmanagementplan) → wird in UVS vorgeschlagen, Umsetzung nicht bekannt

Bodenuntersuchungen im Vorfeld, um Bildung von Eisenocker und Ockerauswaschung zu vermeiden; vor allem dort, wo Permanentdrainage eingebracht wird. Bodenverdichtung vermeiden.

## Monitoring

Technisches Monitoring:

Temperaturmonitoring mit Glasfaserkabeln (Betriebssicherheit; Warnfunktion)

GPS-Vermessung zur genauen Lokalisierung des Kabels (Vermeidung von Beschädigungen)

Ein wirkungsbezogenes Monitoring (Erwärmung, Austrocknung, mechanische Effekte auf Bodenstruktur und/oder Ertragsfähigkeit) findet nach den Unterlagen nicht statt.

## Nutzung / Gestaltung der Trasse

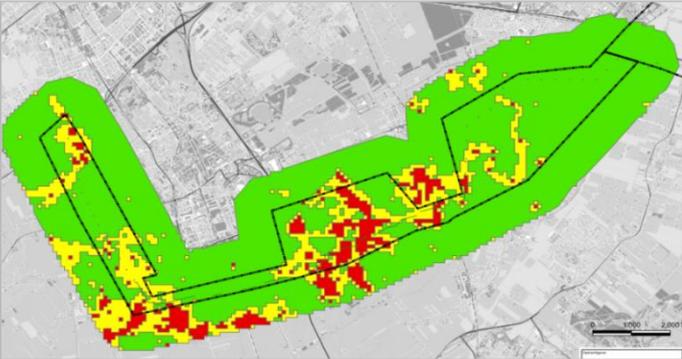
Offene, hügelige Landschaft, hoher Erholungswert für angrenzende Siedlungen

Nutzung: vorwiegend Landwirtschaft, auf Kongshøj Aufforstungsflächen

Bepflanzung maximal mannshoch, um Zugang zu gewährleisten („For at sikre let adgang til jordkabler samt for at undgå skader fra buske og træers rødder holdes eventuel bevoksning under mandshøjde.“)

Eine landwirtschaftliche Nutzung ist ohne Einschränkung möglich. Beschränkungen für den Bau von Gebäuden, Güllebehältern, unterirdischen Anlagen, bestimmte Arten von Vegetation (Gehölze).

<b>Zeitlicher Ablauf</b>					
1980	1989	1999	2000	2001	2004
Flächen im Regionalplan gesichert	Detaillierte Planung beginnt	Umweltbewertung abgeschlossen	Umwelt- und Energieministerium übernimmt Planungshoheit	Genehmigung	Inbetriebnahme
<b>Ansprechpartner</b>					
Energinet.dk (Betreiber)	Umwelt- und Energieministerium / Miljø- og Energiministeren (Genehmigung) mim@mim.dk Abteilungsleiterin Natur & Plan: Pia Holm Nielsen	Planungsbehörden: Århus Amt Nordjyllands Amt	Ingenieurbüros: COWI Rådgivende Ingeniører AS Møller & Grønberg Arkitekter Planlæggere AS		
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>					
<p>Argaut &amp; Mikkelsen (2003): New 400 kV Underground Cable System Project in Jutland (Denmark). In: JICA-BLE '03 - International Conference on Insulated Power Cables.</p> <p>Eltra (2002): 400 kV-forbindelsen Århus-Aalborg. Kabelstrækninger: Gudenådalen, Mariager Fjord, Indkildedalen.</p> <p>Energinet.dk (2014): Sådan lægger vi højspændingskabler.</p> <p>Energinet.dk (2014): 400 kV Cable Project - Videos und Texte unter <a href="http://www.languages.dk/digital/indexEN.html">http://www.languages.dk/digital/indexEN.html</a> [aktualisiert: 2014   abgerufen: 13.04.15]</p>			<p>Nordjyllands Amt &amp; Århus Amt (2000): 400 kV Højspændingsledning Aalborg – Århus. Vurdering af Virkninger på Miljøet (UVS).</p> <p>Nordjyllands Amt (2001): Regionplantillæg nr. 34 400kV – højspændingsforbindelse Vendsysselværket – Trige.</p>		

NL 1	<b>380 kV Zuidring Wateringen – Zoetermeer HDÜ-Erdkabel Delft – Pijnacker</b>		
<b>Lage / Verlauf</b>  Kabelabschnitt süd-westlich von Delft bis östlich von Pijnacker  Länge: 10,8 km  Teil der HDÜ-Randstad 380 Zuidring-Leitung (Länge 22 km)			
<b>Technische Merkmale</b>  380-kV-HDÜ Leitung Übertragungsfähigkeit: 2.640 MW 2 Systeme á 6 Leiter Verlegetiefe im Graben: 1,25 m - 1,50 m über den Kabeln liegen Abdeckplatten auf insgesamt 4,5 km Ausführung in geschlossener Bauweise (längste Unterbohrung: 530 m, tiefste Stelle: 15 m) In unterbohrten Abschnitten Wasserkühlung der Kabel, daher oberirdische (bis 3 m hohe) Pumphäuser nötig 12 Muffen pro Leiter 3 m Kabelabstand bei geschlossener Bauweise	<p data-bbox="735 689 1417 741">Abb. 1: Trassenverlauf Erdkabelstrecke (blau: Unterbohrungen) (MEZ &amp; MVROM 2009a)</p>  <p data-bbox="735 1196 1417 1279">Abb. 2: Temperaturempfindlichkeit im Untersuchungsgebiet (grün &lt; 0,5 m Torf, gelb 0,5 – 1 m Torf, rot &gt; 1m Torf in den oberen 1,5 m des Bodens) (vergl. Tauw 2009)</p>		
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>			
<p data-bbox="188 1375 1431 1458">1983 Untersuchung zu Auswirkungen auf den Boden durch Wärmeemissionen von Erdkabeln (Auftraggeber Umweltministerium, Dokument stand nicht zur Verfügung). Ergebnis: Bis zu einem Temperaturanstieg von 5 K in 40 cm Tiefe keine Schäden an Kulturpflanzen.</p> <p data-bbox="188 1473 1431 1585">Anstehender Boden im Projektgebiet: vorwiegend Torf und Lehm. Da bei Torf ein höherer (punktueller) Temperaturanstieg auftritt, wird der Torf ausgehoben und teilweise abtransportiert. Zur Bettung und Wärmeableitung wird ein Sandbett (0,5 m bis 1 m stark) hergestellt, wenn die Torfschicht &gt; 1 m in den obersten 1,5 m des Bodens beträgt (Abb. 2) (MEZ &amp; MVROM 2009c, Tauw 2009)</p>			
<b>Zeitlicher Ablauf</b>			
2006	04/2009	2009	09/2013
Beginn UVP	Rijksinpassingsplan (Raumordnungsplan)	Baubeginn	Inbetriebnahme

## Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Empfehlungen im Hintergrundbericht Boden und Wasser:

Zur Verminderung von Verdichtung durch das Gewicht des Kabels Verwendung von Polyesterblöcken unter dem Sandbett

Legen des Kabels auf Setztiefe, nicht auf Endtiefe (vermindert den Aushub).

## Monitoring

Technisches Monitoring: Monitoring über technisches Verhalten des 380-kV-Kabels und den Einfluss auf das niederländische Elektrizitätsnetz (Universität Delft, Dr. Popov)

## Nutzung / Gestaltung der Trasse

Bisherige Nutzung:

Erholungsnutzung (Groen-Blauwe Slinger), hoher Erholungswert für die angrenzenden Siedlungen

Größtenteils offene Grünfläche, eine Wald-/Parkfläche (Abswoudse Bos), Erholungsgebiet

Nachnutzung

Bebauung und Bepflanzung sind nicht möglich.

Bei wertvollen Gehölzstrukturen wird die geschlossene Bauweise gewählt. Hierbei können Gehölze erhalten bleiben (TenneT 2011).

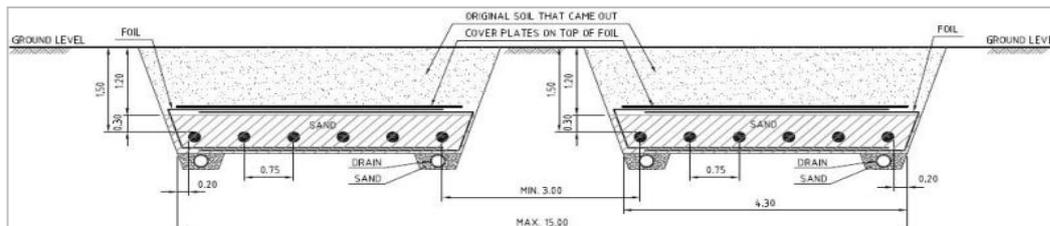


Abb. 3: Kabelgraben, schematische Darstellung (MEZ & MVRM 2009c)

## Ansprechpartner

TenneT TSO (Betreiber)  
Ursela Schennink-Reulink  
Ursela.Schennink-  
Reulink@TenneT.eu

Bureau Energieprojecten (Koordinie-  
rungsstelle)  
Heleen Haverkort  
h.j.haverkort@minez.nl

Ministerie van Economische Zaken  
(Genehmigungsbehörde)  
Directoraat-generaal Energie, Tele-  
com & Mededinging

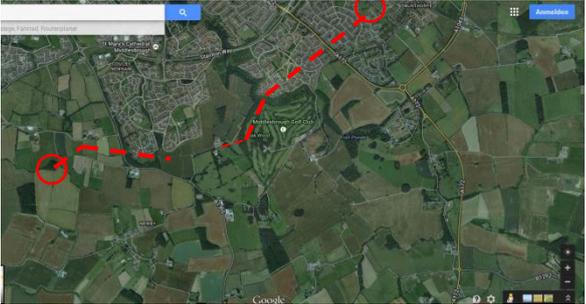
Tauw (Naturschutzfachlicher und  
Bodenkundlicher Beitrag)  
Projektleiter: Olaf Damen

Dr. Marjan Popov (Elektrotechnisches  
Monitoring)  
M.Popov@tudelft.nl

M.B. van der Meide  
m.vandermeide@minez.nl  
Ministerie van Landbouw en Innovatie  
(EL&I) / Infrastructuur en Milieu (I&M)

<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>	
<p>Energy Solutions (2014): Watergang passage sectie 7. Online: <a href="http://www.ensol.nl/wp-content/uploads/2013/12/100_1766-Watergang-passage-sectie-7.jpg">http://www.ensol.nl/wp-content/uploads/2013/12/100_1766-Watergang-passage-sectie-7.jpg</a> [aktualisiert: 02.04.14   abgerufen: 13.04.15]</p> <p>Heidemij / Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij (1983): Bodembeschermende voorzieningen tegen de warmteafgifte van ondergrondse kabels en leidingen (online nicht auffindbar)</p> <p>Minister van Economische Zaken (MEZ) &amp; Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009a): Inpassingsplan Zuidring Wateringen – Zoetermeer (380 kV Leiding) – Vaststellingsbesluit.</p>	<p>Minister van Economische Zaken (MEZ) &amp; Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009b): Randstad 380 kV verbinding Wateringen-Zoetermeer Ontwerp – Rijksinpassingsplan</p> <p>Minister van Economische Zaken (MEZ) &amp; Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) (2009c): Randstad 380 kV verbinding Wateringen-Zoetermeer - Milieueffectrapport (UVP).</p> <p>Tauw (2009): Achtergrondrapport bodem en water MER Zuidring Randstad 380  Tauw (2008): Bodemonderzoek project 'Randstad 380' traject Wateringen-Zoetermeer.</p> <p>TenneT (2011): NIEUWSBRIEF Randstad 380kV April 2011.</p>
<p>Dokumente online unter : <a href="http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/randstad-380-kv-zuidring-fase-1">http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/randstad-380-kv-zuidring-fase-1</a> [abgerufen: 13.04.15]</p>	<p>Video:  <a href="http://www.nktcables.com/de/support/movies/TenneT/">http://www.nktcables.com/de/support/movies/TenneT/</a> [abgerufen: 13.04.15]</p>

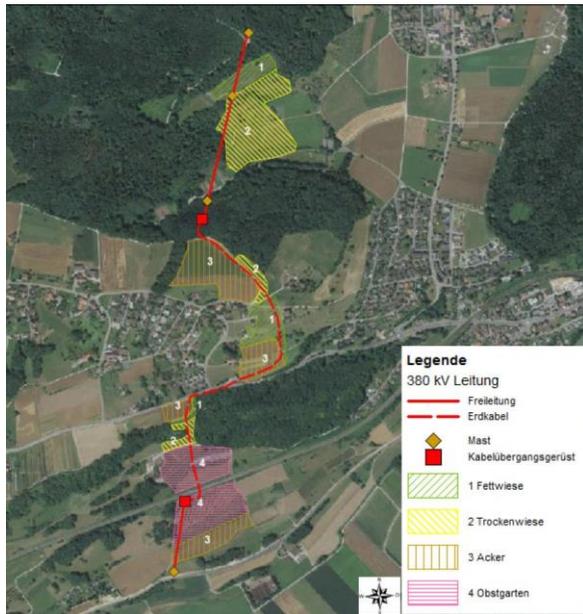
<b>UK 1</b>	<b>Bramley – Didcot Ersatzneubau Erdkabelabschnitt bei Streatley</b>	
<b>Lage / Verlauf</b>		
<p>Kabelabschnitt bei Streatley, Berkshire (Großbritannien)</p> <p>Länge: 3,5 km (Gesamtlänge 13,3 km); Ersatzneubau in bestehender Trasse</p> <p>Durchquert "Area of Outstanding Natural Beauty" (AONB) = Hohe Schutzkategorie für landesweit bedeutsame und schutzwürdige Landschaften.</p>		
<b>Technische Merkmale</b>		
2 x 2 400-kV-VPE-Kabel als Ersatz für die bestehenden Ölkabelsysteme		
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>		
Keine Angaben verfügbar.		
<b>Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen</b>		
<p>"Due to the high potential risk of ground contamination (through oil leakage while removing, transporting and storing the fluid-filled equipment) great emphasis had to be placed on ensuring that all personnel were fully briefed and had the necessary resources to mitigate against any potential spillages." (Neary o. J., online)</p>		
<b>Monitoring</b>		
Keine Angaben verfügbar.		
<b>Nutzung / Gestaltung der Trasse</b>		
<p>Bisherige Nutzung: Ölkabeltrasse</p> <p>Nachnutzung: "Access to cables for maintenance and repair is also required for the duration of their life. Building over cables, earth mounding and excavating on the cable easement strip is therefore restricted for direct bury cables and cables installed in surface troughs. There are also restrictions on the planting of trees and hedges over the cables or within 3m of the cable trench to prevent encroachment by vegetation. Tree roots can cause drying out of the ground around the cable causing a fall in the thermal conductivity and tree roots may also penetrate the back fill and cable construction causing electrical failure. In urban areas the land take for direct bury cables far exceeds that required for an equivalent rated overhead line. Cables have historically been routed under roads to avoid land sterilisation, however traffic disruption during fault investigation and repairs can be significant. Where cables are installed by direct burial in rural areas there are restrictions on the use of deep cultivating." (National Grid 2009)</p>		
<b>Ansprechpartner</b>		
National Grid (Betreiber)		
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>		
Hewson Consulting Engineers (2015): Bramley - Didcot 400kV Cable Replacement Scheme – Project data sheet.	Neary (o.J.): Bramley - Didcot 400kV Fluid Filled Cable Recovery. Online: <a href="http://www.neary.co.uk/projects-info/32">http://www.neary.co.uk/projects-info/32</a> [abgerufen: 13.04.15]	
National Grid (2009): Undergrounding high voltage electricity transmission – The technical issues.		

<b>UK 2</b>	<b>400 kV Teesside – North Yorkshire Erdkabelabschnitt bei Nunthorpe – Newby</b>
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Länge des Kabelabschnitts: 5,7 km, Teil der North Yorkshire Leitung (Gesamtlänge 75 km)</p> <p>Verkabelung zum Schutz des Landschaftsbilds, da Querung einer „Special Landscape Area“ = Schutzkategorie für „locally significant and attrac- tive landscapes“. (Cleveland Hills, Roseberry Topping)</p>	
<b>Technische Merkmale</b>	
<p>400-kV-HDÜ-Ölkabel Übertragungsfähigkeit: 2000 MW 2000 mm<sup>2</sup> Kupferleiter, PPL Isolierung (polypropylene paper laminate) getränkt mit DDB (Dodecylbenzol) Kabelöl Insgesamt 12 Kabel, Verlegung in 4 Kabelgräben, Unterbohrung unter Straßen, Gehölzen und Hecken Je 2 Muffenbauwerke sichtbar</p>	
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>	
<p>Bettungsmaterial: Sand-Zement-Mischung</p> <p>“It has been National Grid's policy not to reinstate hedgerows over the cable swath. This avoids the risk of the cables overheating. The carefully designed thermal environment around the cables can be disrupted by both root growth and by the removal of moisture from the backfill by roots.”(CIGRÉ 2007)</p>	
<b>Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen</b>	
<p>Trennung Ober- und Unterboden Verschlossene Behälter für das Kabelöl</p>	
<b>Monitoring</b>	
<p>DTS monitoring equipment → record cable temperature</p>	
<b>Nutzung / Gestaltung der Trasse</b>	
<p>Nutzung: Landwirtschaft, Beweidung, Heckenstrukturen</p> <p>“In the case of the Newby-Nunthorpe Line in Yorkshire the route was laid in mainly pastoral land and reinstated to its original condition. The ground recovered quickly“. (ECOFYS 2008)</p> <p>Im Bereich der nachgepflanzten Heckenabschnitte soll die Temperaturentwicklung am Kabel kontrolliert werden. Befürchtet wird eine Erhöhung der Kabeltemperatur durch eine Austrocknung des Bodens infolge des Wasserentzugs durch die Gehölze. Bei positiven Ergebnissen (also keine ungünstige Beeinflussung der Kabeltemperatur) kann die Neupflanzung aller Hecken erwogen werden.</p>	

<b>Zeitlicher Ablauf</b>			
1991	1992	03/1998	2003
Antrag auf Genehmigung einer Freileitung	Beginn Anhörungsverfahren	Genehmigung Freileitung außer Abschnitt Nunthorpe-Newby	Inbetriebnahme
<b>Ansprechpartner</b>			
National Grid Company (Betreiber)		Margaret Beckett – Ministerin für Handel und Industrie (Secretary of State, Genehmigungsbehörde)	
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>			
<p>CIGRÉ Technical Brochure No. 338, Working Group B1.07 (2007): Statistics of AC Underground Cables in Power Networks.</p> <p>ECOFYS (2008): Study on the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables.</p> <p>Renewable Grid Initiative (o.J.): Nunthorpe - Newby (part of Second Yorkshire Line) Online: <a href="http://renewables-grid.eu/activities/learning-groups/projectdatabase/project.html?tx_browser_pi1%5BshowUId%5D=85&amp;cHash=d414131cf9">http://renewables-grid.eu/activities/learning-groups/projectdatabase/project.html?tx_browser_pi1%5BshowUId%5D=85&amp;cHash=d414131cf9</a> [abgerufen: 13.04.15]</p>		<p>Revolt (o.J.): Opposing unnecessary, excessive and intrusive powerline development. Online: <a href="http://www.revolt.co.uk/">http://www.revolt.co.uk/</a> [abgerufen: 13.04.15]</p> <p>Swingler, S. (2007): Lackenby – Picton – Shipton. 400 kV Transmission line. Presentation at WETS '07 – Jicable workshop, Paris June 28th 2007.</p>	

CH 1

**380-kV-HDÜ-Netzbauprojekt Beznau – Birr**  
**Erdkabelabschnitt bei Bözberg/Gäbihübel**



**Lage / Verlauf**

Teil der Strecke Beznau-Birr  
Kabelabschnitt bei Bözberg/Gäbihübel → Hanglage  
Länge des Kabelabschnitts: 1297 m  
150 m davon tangieren ein Waldgebiet  
Lage einer KÜA im Wald → Kaschierung der Landschaftsbildbeeinträchtigung, zweite KÜA liegt in einer Obstplantage

Abb. 1 Trassenverlauf der Erdkabeltrasse bei Bözberg (Swissgrid 2013b, 39)

**Technische Merkmale**

380-kV-HDÜ-Leitung, 2.530 A

12 VPE-Kabel + 2 Reservekabel, 1.800 mm<sup>2</sup> Querschnitt

Verlegung in Kunststoff-Kabelschutzrohren (Durchmesser 2.500 mm) in zwei parallelen Rohrblöcken (0,80 x 1,5 m), Abstand der Blöcke voneinander: 1,5 m

Verlegetiefe 1,1 m (Oberseite Schutzrohr), Kabelgrabentiefe 1,9 m,

Trassenbreite 4,55 m + 2,0 m auf beiden Seiten (insgesamt also 8,55 m)

Kabelfixierung durch Briden (Rohrschellen). Wegen der beträchtlichen Steigungen sind mehrere Bridenschächte entlang der Trasse vorgesehen.

Einführung in Übergangsbauwerke über begehbaren Kabelkanal.

Bahntrassenquerung mit Betonrohren (Höhe 2 m, 49 m Pressvortrieb, Belüftung durch gelochte Schachtdeckel, natürliche Konvektion ausreichend zur Kabelkühlung)

Keine Muffen notwendig, da Lieferlänge des Kabels bis 1.300 m möglich.

KÜA: 1.575 m<sup>2</sup> (mit Unterkellerung, in der die Kabel in den Kabelkanal zum Rohrblock geführt werden)

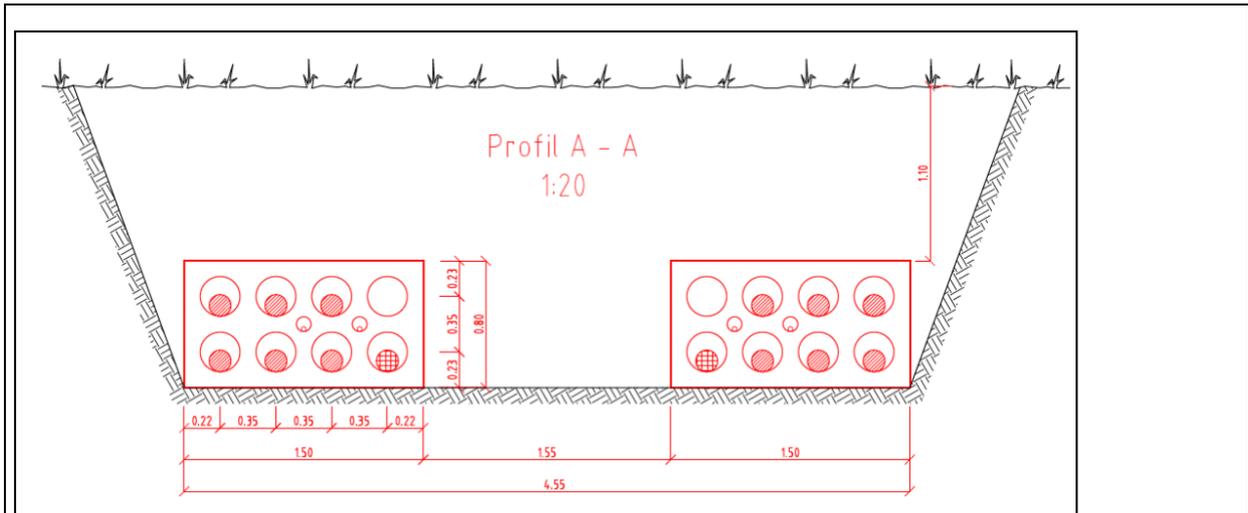


Abb. 2 Kabelgrabenprofil (Swissgrid 2013a, 12)

**Zeitlicher Ablauf**

2011	2013	2018/2019
Urteil des Bundesgerichtshofs, dass 1,3 km bei Riniken verkabelt werden müssen	Einreichung der Unterlagen zum Plangenehmigungsverfahren	Inbetriebnahme geplant

**Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung**

Vorkommende Böden

Braunerde und Kalkbraunerde, einige Abschnitte sind stark verdichtungsempfindlich aufgrund ihres stauwasserbeeinflussten Wasserhaushaltes sowie ihres Tongehaltes

Bodenerwärmung

„Bei Kabelleitungen kann es lokal zur Erwärmung des Erdreichs kommen. Je nach Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Materials und übertragener Stromlast fällt diese unterschiedlich stark aus, in der Regel ist diese aber eher gering (ca. 1° C). Gemäß einer Studie der Universität Freiburg (Uther et al. 2009) kann davon ausgegangen werden, dass die Bodenerwärmung vor allem im Nahbereich der Kabel stattfindet und mit zunehmender Entfernung (auch Richtung Bodenoberfläche) abnimmt. Die Bodentemperatur wird durch die saisonale Variation dominiert. Im Winter könnte es je nach Betrieb zu einem früheren Auftauen des Bodens kommen. Der Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt ist dabei so gering, dass er aus ökologischer Sicht als irrelevant angesehen wird. Eine Austrocknung des Bodens findet praktisch nicht statt.“ (Swissgrid 2013b, 49f.)

**Baubauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen**

Umweltbaubegleitung: ökologische und bodenkundliche Baubegleitung (BBB)

Baustreifen ist im offenen Ackerland rechtzeitig zu begrünen und möglichst lange grün zu lassen (während der Vegetationsphase mind. 3 Monate vor Baubeginn), damit der Boden schneller abtrocknet

Bodenrelevante Arbeiten: Freigabe durch BBB in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte sowie den gemessenen und erwarteten Niederschlägen

Entscheidungsgrundlage = Saugspannung des Bodens, Messung mit Tensiometern:

Bodenarbeiten sind bei Saugspannungen über 10 Centibar möglich, wenn dieser Bodenkenwert grösser als oder gleich dem Maschinenkenwert ist.

Saugspannungen zwischen 6 und 10 Centibar: Erdarbeiten gestattet, wenn die Maschinen sich auf einer Baupiste oder einer Baggermatratze befinden

Nutzung von Raupenbaggern mit möglichst großflächigen Fahrwerken / Fahrzeuge mit Flächenpressungen unter 0.5 bar, idealerweise Moorraupen (Flächenpressung kleiner 0.3 bar )

Radfahrzeuge nur auf dem C-Horizont bzw. auf Kiespisten und Flurwegen erlaubt

Bei Bauarbeiten in steilen Geländeabschnitten: rutsch- und erosionsmindernde Maßnahmen nötig

### Monitoring

Monitoring Erwärmung: Der Einfluss auf die Bodentemperatur wird überwacht (Kabeltemperatur und Temperaturen in unterschiedlichen Tiefen im Leitungsbereich und an einem Kontrollstandort werden gemessen). Die Temperatursonden werden mit einem Datenlogger erfasst.

Es ist die Ausarbeitung eines detaillierten Monitoringprogramms mit den zuständigen Amtsstellen (u.a. BAFU) vorgesehen.

Wegen des europaweiten Interesses an HöS-Erdkabelprojekten Aufnahme in ein wissenschaftliches Programm von Swissgrid: Gezielte Tests und Monitorings geplant, um der Theorie konkrete Praxiserfahrungen gegenüberstellen zu können.

### Nutzung / Gestaltung der Trasse

„Entlang der Kabeltrasse wird im Bereich von Hecken, Einzelbäumen und im Wald eine Wiederherstellung nur bedingt möglich sein, da über Erdkabeln keine tief wurzelnden Pflanzen wachsen dürfen.“ (Swissgrid 2013b, 41)

„Nach Einbau der Erdkabel wird der Graben wieder geschlossen und die Vegetation wieder in ihren ursprünglichen Zustand überführt. Dauerhaft bestehen bleibt nur der Zufahrtsweg zum Übergangsbauwerk Nord (ca. 90 m x 4.5 m).“ (Swissgrid 2013b, 41)

Auf der Trasse ist die Begrünung mit Luzerne-Klee gras-Kulturen oder Rekultivierungsmischungen vorzunehmen. Die Durchwurzelung und Bodenruhe soll die Bodenstruktur stabilisieren. Die 3-jährige Begrünungsphase soll den Eingriff in den Boden vermindern. Pflügen, Befahren mit schweren Maschinen, Düngung und Beweidung sind in dieser Zeit nicht erlaubt.

Im Bereich des geplanten gestuften Waldrandaufbaus wurde bereits im Sommer 2014 vorbereitend durchforstet → Der Sichtschutz zum Übergangsbauwerk Nord kann bereits heranwachsen.

An der KÜA Nord (im Wald) werden Fangnetze angebracht, um das Übergangsbauwerk vor stürzenden Bäumen zu schützen und die Niederhaltefläche so klein wie möglich zu halten.

### Ansprechpartner

Swissgrid AG (Betreiber)  
Dammstrasse | 35070 Frick  
+0041 58 580 21 11  
Bauherrenvertreter/Projektleiter:  
Christoph Moser  
Swissgrid AG, Hr. Marcel Aregger  
Mitteilung per mail v. 30.07.2015

Axpo Power AG (Planung)  
Produktion und Netze, Geschäftseinheit Engineering,  
Abteilung Leitungsbau  
Parkstrasse 23 | 5401 Baden  
Bundesamt für Umwelt  
Elisabeth Suter  
0041 58 463 07 35  
elisabeth.suter@bafu.admin.ch  
UVP Energieleitungen

Büro ARNAL (Umwelt)  
Kasernenstr. 39 A  
CH 9100 Herisau  
Bearbeiter: Robert Meier, Juliane Schalajda,  
Monika Jung, Hildegard Holenstein

**Quellen und verfügbare Dokumente**

ARNAL (2015): 380-kV-Leitung Beznau–Birr Abschnitt: Mast 28 (Exkl.) bis Mast 32 (exkl.) – Waldökologische Erhebungen und Maßnahmenkonzept.

Swissgrid AG (2013a): 380-kV-Leitung Beznau – Birr Abschnitt: Mast 28 (exkl.) bis Mast 32 (exkl.) 27.09.2013 - Anlage 1: Technischer Bericht.

Swissgrid AG (2013b): 380-kV-Leitung Beznau – Birr Abschnitt: Mast 28 (exkl.) bis Mast 32 (exkl.) - Anlage 2: Umweltverträglichkeitsbericht.

Swissgrid (2014): Erkenntnisse zur Teilverkabelung Gäbihübel - Ergänzungen und Detaillierungen zum Umweltverträglichkeitsbericht vom 27. September 2013 (Anlage 2).

<b>BEL 1</b>	<b>380-kV-HDÜ Netzausbauprojekt Stevin Erdkabelabschnitt Van Maerlant (Vivenkapelle) – Gezelle (De Spie)</b>
--------------	--

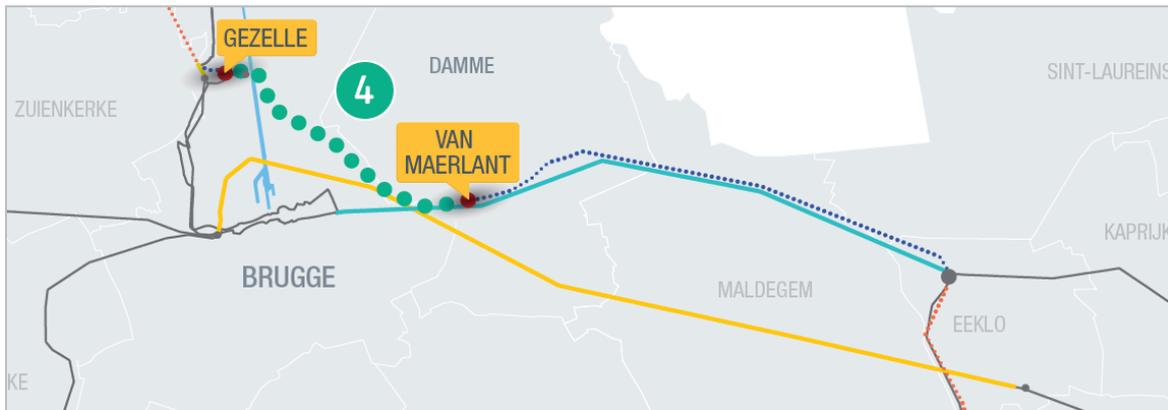


Abb. 1 Verlauf der Erdkabeltrasse (4) (Elia 2015a)

<b>Lage / Verlauf</b>	<b>Technische Merkmale</b>
<p>Teil des Projektes Stevin, Verbindung zwischen Zomergem und Zeebrugge (Gesamtlänge 47 km)</p> <p>Erdkabelabschnitt Van Maerlant (Vivenkapelle) – Gezelle (De Spie)</p> <p>Länge des Kabelabschnitts: 10 km,</p> <p>Verkabelung zur Querung des Boudewijnkanaal und eines Natura 2000-Gebiets</p> <p>Abb. 2: Baustelle Kabelgraben (Elia 2015b)</p>	<p>380 kV-HDÜ-Kabel</p> <p>Übertragungsleistung: 1000-3000 MVA</p> <p>Insgesamt 12 Kabel, Verlegung in einem Kabelgraben (4 Kabelbündel à 3 Kabel), Kabelgraben zw. 12,60 m und 16,20 m breit, 2,40 m tief</p> <p>Unterbohrung des Kanals für einen Tunnel</p> <p>11 Kontrollschächte sichtbar</p>
	<p><b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit, Erwärmung</b></p> <p>Bettungsmaterial: Dolomitischer Kalkstein</p> <p>Bodenart: künstlicher Grund mit größten Altlasten im Hafengebiet; Sand, Polder</p> <p>Bodenerwärmung: + 2,2 °C in 40 cm Tiefe (bei 15 °C Umgebungstemperatur max. + 4,5 °C)</p>



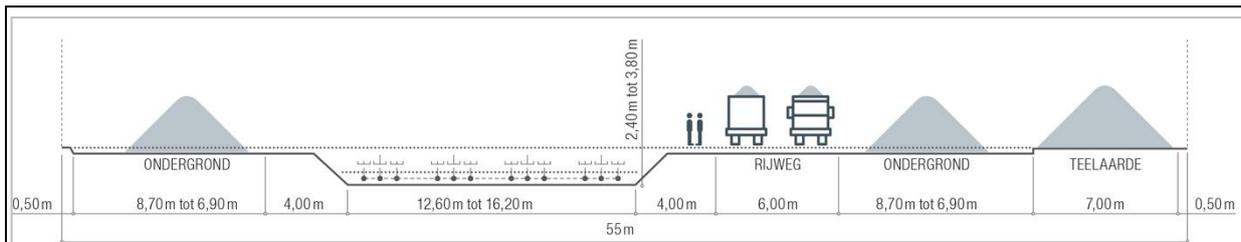


Abb. 3: Kabelgrabenprofil (Elia 2015b)

### Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen

Auswirkungen des Bettungsmaterials auf Grundwasserspiegel und -qualität (z. B. durch pH-Wert-Änderung) sollen vermieden werden.

Arbeiten im Polderkomplex nur von Mitte Oktober bis Mitte März (zum Vogelschutz).

Horizontale Entwässerungen sollen im betroffenen FFH-LRT 91E0 in Dauer und Tiefe durch Wiedervernässung beschränkt werden.

In Gräben, die parallel zu Röhrichtbereichen verlaufen, soll Schlitzentwässerung in Kombination mit Wiedervernässung erfolgen.

### Nutzung/Gestaltung der Trasse

Die visuellen Veränderungen durch Kontrollschächte an den Muffenbauwerken stellen keine erhebliche Beeinträchtigung dar. Eingrünungsmaßnahmen möglich. Ggf. ist Abzäunung erforderlich.

### Zeitlicher Ablauf

2009-2011	2016-2017
Alternativenprüfung für Korridore	Bauzeit

### Ansprechpartner

Elia System Operator (Betreiber); Arianne Mertens (Stevin Project Manager);

arianne.mertens@elia-engineering.com oder stevin@elia.be

### Quellen und verfügbare Dokumente

ARCADIS Belgium nv (2011): Milieubeoordeling volgens integratiespoor ten behoeve van opmaak gewestelijk ruimtelijk uitvoeringsplan, Hoogspanningsverbinding 380 kV Zomergem – Zeebrugge, MER Projectnummer: 04/006233, Versie i. 972 S.

ARCADIS Belgium nv/sa (2013): Niet technische samenvatting bij eindrapport project-MER Project-MER 380 kV Hoogspanningsverbinding Zomergem- Zeebrugge, Projectnummer BE0100.046233.130, versie B. 85 S.

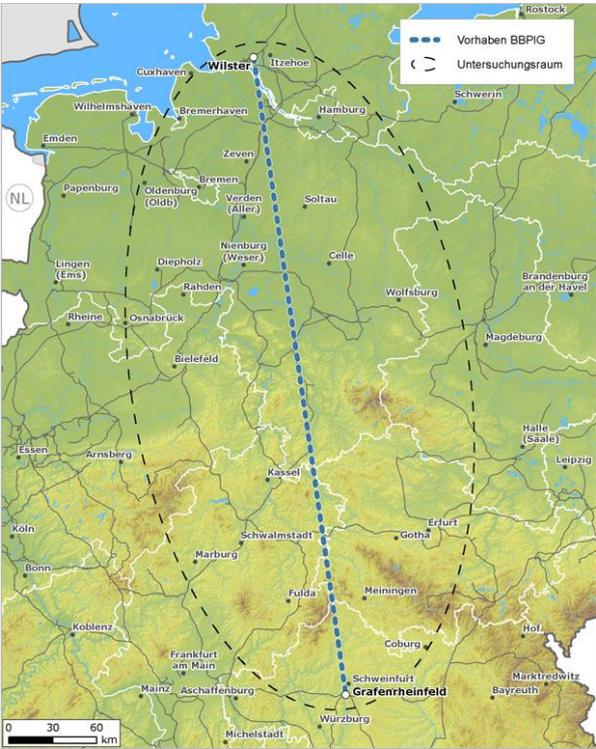
Elia (2015a): 4. Nieuwe ondergrondse 380-kV-verbinding Van Maerlant (Vivenkapelle) – Gezelle (De Spie). Online verfügbar unter: <http://www.stevin.be/werven-op-een-rij/deelproject-4/> [zuletzt geprüft am 24.09.2015].

Elia (2015b): Kabelwerken ondergronds in 5 fasen. Online verfügbar unter: <http://www.stevin.be/werven-op-een-rij/kabelwerken-ondergronds-in-5-fasen/> [zuletzt geprüft am 24.09.2015].

Elia (2015c): Wat is Stevin? Online verfügbar unter: <http://www.stevin.be/stevin-in-het-kort/wat-is-stevin/> [zuletzt geprüft am 09.10.2015].

Stichting BirdLife Europe (2015): Protecting Nature in Power Grid Planning Recommendations from the BEST-GRID project. Online verfügbar unter: [http://www.bestgrid.eu/uploads/media/D7.2\\_Guidelines\\_Protecting\\_Nature.pdf](http://www.bestgrid.eu/uploads/media/D7.2_Guidelines_Protecting_Nature.pdf) [zuletzt geprüft am 24.09.2015].

### 8.1.3 HGÜ-Projekte in Deutschland

DE-HGÜ	SuedLink (Gleichstrompassage)
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Die Gleichstrompassage SuedLink umfasst die Projekte 3 und 4 des Bundesbedarfsplangesetzes:</p> <p>Nr 3: Brunsbüttel (SH) - Großgartach (BW);</p> <p>Nr. 4: Wilster (NI) – Raum Grafenrheinfeld (BY).</p> <p>Das Vorhaben soll vorrangig als Erdkabel ausgeführt werden.</p>	
<p><b>Technische Merkmale</b></p> <p>500-kV-HGÜ Leitung</p> <p>Übertragungsfähigkeit je Vorhaben 2 GW (insges. 4 GW)</p> <p>Ausgelegt als Bipol (Plus- und Minus-Pol sowie metallischer Rückleiter)</p> <p>VPE-oder MI-Kabel (je nach Stand der Technik)</p> <p><i>Bei Verwendung von MI-Kabeln:</i></p> <p>Bei gemeinsamer Führung mit 4 GW werden 8 Erdkabel benötigt + Rückleiter. Bei Verlegung in vier getrennten Kabelgräben (2x2; 2x3 Kabel) beträgt die Kabelgrabenbreite 15 bis 20 m.</p> <p>Im Bereich der Abzweige (2 GW) werden 4 Erdkabel benötigt. Kabelgrabenbreite bei 2 x 2 Kabeln 7,5- 10 m</p> <p>Kabelgrabentiefe 1,5 m bis 2,0 m</p>	<p>Abb. 1 Luftlinie zwischen den Netzverknüpfungspunkten Wilster und Grafenrheinfeld. Der ellipsenförmige Untersuchungsraum für den Trassenverlauf wird aufgrund des Erdkabelvorrangs voraussichtlich verändert (© Bundesnetzagentur)</p>
<p><b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b></p>	
<p>Die Kabelbettung bedarf nach Angaben von TenneT außer dem Kabelsand keiner zusätzlichen Materialien, wie z.B. Magerbeton oder Rohre. Dies wird bei fortschreitender techn. Planung zu verifizieren sein.</p> <p>„Der Abstand zwischen den einzelnen Kabelgräben ergibt sich aus der vorherrschenden Bodencharakteristik und wird so gewählt, dass zwischen den Kabelgräben keine Wärmebeeinflussung mehr besteht. Die geringere Stromtragfähigkeit der MI-Kabel im Vergleich zu Freileitungsseilen erfordert entweder Kabel mit hohem Querschnitt oder mehrere Kabel pro Pol. Aus Verfügbarkeitsgründen ist die Verlegung von zwei Kabeln pro Pol und einem Kabel pro Metallischem Rückleiter geplant.“ (TenneT 2014a)</p>	

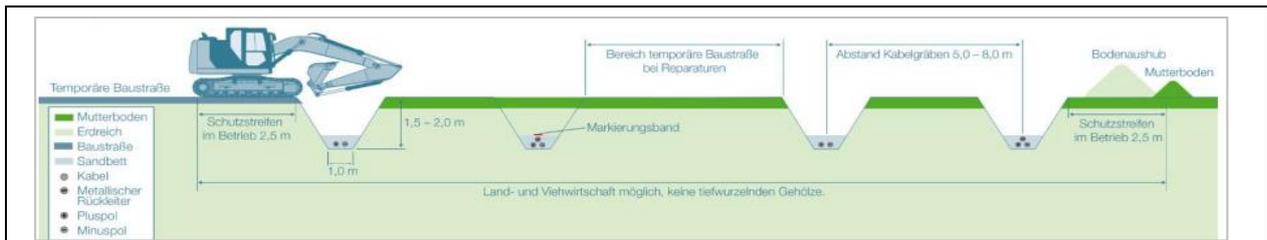


Abb. 2 Schematische Darstellung eines Kabelgrabens für 10 Kabel in vier Gräben (TenneT 2014a, 27)

**Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen**

Eine ökologische Baubegleitung ist vorgesehen.

**Monitoring**

Keine Angaben verfügbar.

**Nutzung / Gestaltung der Trasse**

„Der Schutzstreifen über den Kabelgräben umfasst die Breite aller einzelnen Kabelgräben sowie einen zusätzlichen Abstand von 2,5 m an den äußeren Rändern. Innerhalb dieses Schutzstreifens ist die landwirtschaftliche Nutzung sowie Beweidung durch Tiere erlaubt. Der Schutzstreifen ist von tief wurzelnden Gewächsen und Gehölzen frei zu halten.“ (TenneT 2014a)

**Ansprechpartner**

TenneT:  
Dr. Christoph Thiel (Gesamtprojektleiter)  
Thomas Wagner, Michael Roth (Projektkommunikation)  
Suedlink@tennet.eu

TransnetBW:  
Jens Ohr (Genehmigung)  
Thomas Schlüter (Projektleiter)  
Saskia Branzke (Projektkommunikation)

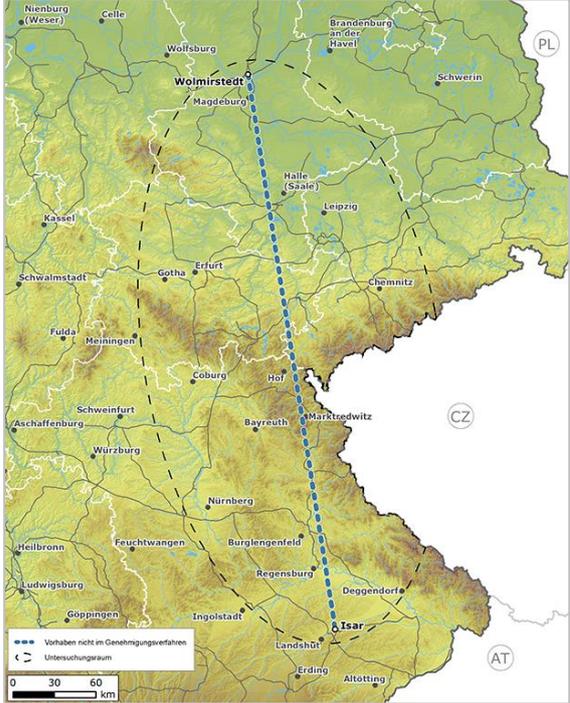
Froelich & Sporbeck  
IBU energie  
(Naturschutzfachlicher Beitrag)

LTB Leitungsbau  
(Technische Grobplanung)

**Zeitlicher Ablauf**

Dez. 2014	Dez. 2015	2016	2022
Erster Antrag auf Bundesfachplanung	Novelle BBPlG; Vorrang Erdverkabelung beschlossen	Überarbeitung Antrag Bundesfachplanung	Ursprünglicher Termin der Inbetriebnahme

<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>	
<p>BNetzA (o.J.): Wilster-Grafenrheinfeld. Online:  <a href="http://www.netzausbau.de/cln_1412/DE/Vorhaben/BBPIG-Vorhaben/BBPIG-04/BBPIG-04-node.html">http://www.netzausbau.de/cln_1412/DE/Vorhaben/BBPIG-Vorhaben/BBPIG-04/BBPIG-04-node.html</a> [abgerufen: 13.04.15].</p> <p>BNetzA (2015): Bundesnetzagentur zum Antrag auf Bundesfachplanung für SuedLink.</p> <p>BMWi (07.10.2015): Kabinett stellt Weichen für zügigeren Ausbau der Stromnetze.  <a href="http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=729806.html">http://www.bmwi.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=729806.html</a></p>	<p>TenneT (2014a): Antrag nach §6 NABEG – Projekt Höchstspannungsleitung Wilster-Grafenrheinfeld, SuedLink. Erläuterungsbericht.</p> <p>TenneT (2014b): Anhang II - Projektimmanente Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen.</p> <p>TenneT (2014c): SuedLink - Die Hauptschlagader der Energiewende.</p> <p>Transnet (o.J.) Suedlink. Die Windstromleitung. Online unter  <a href="https://www.transnetbw.de/downloads/mediathek/unternehmenspublikationen/projektbroschuere-suedlink.pdf">https://www.transnetbw.de/downloads/mediathek/unternehmenspublikationen/projektbroschuere-suedlink.pdf</a>.</p>

<b>DE-HGÜ</b>	<b>SuedOstLink</b>	
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Die Gleichstrompassage SuedOstLink umfasst das Projekt 5 (Korridor D) des Bundesbedarfsplangesetzes.</p> <p>Verbindung von Wolmirstedt (ST) nach Isar (BY)</p> <p>Diese Gleichstromverbindung soll vorrangig als Erdkabel ausgeführt werden.</p>		
<p><b>Technische Merkmale</b></p> <p>500-kV-HGÜ-Leitung, Länge ca. 600 km</p> <p>Übertragungsleistung: Bedarf für 2 GW bestätigt</p> <p>Erweiterung auf 4 GW denkbar</p> <p>Auslegung als Bipol</p> <p>Alternativen: Je Plus- und Minuspol</p> <p>entweder 1 VPE-Kabel/Pol plus metallische Rückleiter</p> <p>oder</p> <p>je 2 MI-Kabel/Pol plus metallische Rückleiter</p> <p>Verlegetiefe: ca. 1,6 m</p> <p>Ob Verlegung in einem oder zwei Gräben erfolgt, ist noch nicht entschieden.</p> <p>Abmessungen für 4 MI-Kabel mit Rückleitern in einem Graben:</p> <p>Sohlbreite Kabelgraben 3 bis 4 m</p> <p>Trassenbreite Oberkante: ca. 6 bis 7 m</p> <p>Schutzstreifenbreite: ca. 12 m</p> <p>Ausführung mit VPE Kabeln in einem Graben würde schmaler ausfallen.</p> <p>Bei zwei Kabelgräben würde die Schutzstreifenbreite bei mind. 15 m liegen.</p>		
<p><b>Ansprechpartner</b></p>		
<p>50Hertz Transmission GmbH (Vorhabenträger)</p> <p>(für Trassenabschnitte in ST, TN und SA)</p> <p>Olivier Feix (Projektleiter)</p> <p>Axel Happe (Projektkommunikation)</p> <p>030-5150-3414; axel.happe@50hertz.com</p>	<p>Amprion GmbH (Vorhabenträger)</p> <p>(für Trassenabschnitte in BY)</p> <p>Dirk Uther (Projektleiter)</p>	

<b>Zeitlicher Ablauf</b>	
Dez. 2015	2017
Novelle BBPIG; Vorrang Erdverkabelung	Antrag auf Bundesfachplanung geplant
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>	
<p>BNetzA (2015): Lauchstädt – Meitingen (Gleichstrompassage Süd-Ost). Online verfügbar unter: <a href="http://www.netzausbau.de/DE/Vorhaben/BBPIG-Vorhaben/BBPIG-05/BBPIG-05-node.html">http://www.netzausbau.de/DE/Vorhaben/BBPIG-Vorhaben/BBPIG-05/BBPIG-05-node.html</a> [zuletzt geprüft am 17.11.2015].</p> <p>BR (2015): Süd-Ost-Passage: Amprion plant Stromtrasse neu. Online verfügbar unter: <a href="http://www.br.de/nachrichten/oberfranken/inhalt/amprion-gleichstromtrasse-sued-ost-100.html">http://www.br.de/nachrichten/oberfranken/inhalt/amprion-gleichstromtrasse-sued-ost-100.html</a> [zuletzt geprüft am 17.11.2015].</p>	<p>Happe, A. (05.11.2015): Stand zur östlichen Gleichstromverbindung. Vortrag am 05.11.2015 in Magdeburg</p> <p>Happe, A. (20.11.2015, telefon): Auskunft zu den alternativen Optionen der technischen Auslegung der Trasse.</p> <p>50Hertz (2015): Korridor D / Gleichstrompassage Süd-Ost. Online verfügbar unter: <a href="http://www.50hertz.com/de/Netzausbau/Projekte/Korridor-D-Gleichstrompassage-Sued-Ost">http://www.50hertz.com/de/Netzausbau/Projekte/Korridor-D-Gleichstrompassage-Sued-Ost</a> [zuletzt geprüft am 17.11.2015].</p>

<b>DE-BE</b>	<b>HGÜ Verbindung Oberzier – Bundesgrenze (BE) ALEGrO (Aachen Liège/Lüttich Electric Grid Overlay)</b>		
<b>Lage / Verlauf</b>  Oberzier – Lixhe, erste Verbindung zwischen Deutschland und Belgien  Länge: ca. 100 km, davon 45 km auf deutscher Seite  Gleichstromvorhaben  Projekt mit Erdkabelvorrang  Vorhaben von besonderem europäischem Interesse (PCI = project of common interest)  Kein ROV erforderlich			
<b>Technische Merkmale</b>  320 kV-HGÜ-Erdkabel 2 Kabel, Verlegung in Kabelschutzrohren 1000 MW Transportkapazität	Leitungsverlauf ALEGrO (Aachen Liège/Lüttich Electric Grid Overlay; Amprion 2014)		
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>			
„Wie warm die beiden Kabel von ALEGrO im Betrieb werden, hängt unter anderem von der Auslastung und der Verlegung der Kabel sowie von anderen technischen Parametern ab. Bei Kabeln wird die höchste Temperatur stets am Leiter erreicht. Untersuchungen haben gezeigt, dass die jahreszeitlichen und wetterbedingten Temperaturschwankungen (z.B. durch Winter und Sommer oder Sonneneinstrahlung) in den oberen Bodenschichten deutlich größer sind als die Einflüsse eines Kabels, wie wir es für ALEGrO verlegen wollen. Zudem ist nach derzeitigen Erkenntnissen die landwirtschaftliche Nutzung oberhalb des Kabels uneingeschränkt möglich“ (Amprion 2014).			
<b>Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen</b>			
Nach Amprion (2014) ist die Erstellung von Bodengutachten und Bodenschutzkonzept geplant. Mehrere Abschnitte sollen zum Schutz von Natur und Landschaft in grabenloser Bauweise erstellt werden. Im Abschnitt Aachen-Stadtteil Brand (parallel zur A 44) soll die Unterbohrung im Micro-Tunneling Verfahren erfolgen. Im Untergrund befindet sich inhomogenes Bodenmaterial, u. a. Kalksandstein, der eine HDD-Bohrung ausschließt. Die Länge des Micro-Tunnelabschnitts soll 2,8 km betragen. Der Tunneldurchmesser ist nach Millinghaus (05.11.2015, telefon.) 1.600 mm, der Innendurchmesser für das Kabelrohr ca. 800 -1.000 mm. Das Rohr wird in einer Tiefe von 8- 10 m verlegt. Die Muffenverbindungen sind durch entsprechend tiefe Muffenschächte (Abstand: alle 1.000 m) zugänglich.			
<b>Zeitlicher Ablauf</b>			
2012	2014	Ende 2016	2019
Aufnahme in NEP	Erstellung der Antragsunterlagen	Antrag auf Planfeststellung geplant	Inbetriebnahme geplant
<b>Monitoring</b>			
Keine Angaben verfügbar.			

<b>Nutzung / Gestaltung der Trasse</b>		
<p>Zur Nutzung der Trasse sind lediglich allgemeine Aussagen verfügbar. Danach dürfen "auf dem Schutzstreifen weder Häuser gebaut noch Wälder oder tiefwurzelnde Pflanzen gepflanzt werden. Diese Einschränkung ist nötig, damit die Kabel nicht von Wurzeln beschädigt werden und unsere Mitarbeiter die Problemstelle im Notfall schnell erreichen können" (Amprion 2014). Darüber, ob im Bereich des Micro-Tunnels eine Gehölzbestockung möglich wäre, wurde bisher keine Aussage gemacht.</p>		
<b>Ansprechpartner</b>		
<p>Amprion (Betreiber)          Joëlle Bouillon - Kommunikation          Rainer Millinghaus - Projektleiter          Telefon: 0231 5849-12932          alegro@amprion.net          Elia (Betreiber Belgischer Teil)</p>	<p>Ingenieurbüro Feldwisch (Bodenkundlicher Beitrag, Bodenschutzkonzept)          02204 - 4228-50          info@ingenieurbuero-feldwisch.de</p>	<p>Bezirksregierung Köln / Staatskanzlei Nordrhein-Westfalen (Genehmigungsbehörden)</p>
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>		
<p>Amprion (o. J.): Deutschland-Belgien. Online: <a href="http://www.amprion.net/netzausbau/alegro-hintergrund">http://www.amprion.net/netzausbau/alegro-hintergrund</a> [abgerufen: 13.04.15].          Amprion (2013): ALEGrO – Fragen und Antworten. Informationsbroschüre.          Amprion (2014): ALEGrO - Die erste Strombrücke nach Belgien. Informationsbroschüre.</p>	<p>Amprion (o. J.): ALEGRODIALOG. Interaktive Dialogplattform. Online: <a href="https://alegrodialog.de/">https://alegrodialog.de/</a> [abgerufen: 13.04.15].          Millinghaus, R. (05.11.2015, telefon.) Projektleiter für ALEGrO bei Amprion</p>	

### 8.1.4 HGÜ-Offshore Anbindungen in Deutschland

<b>DE-HGÜ</b>	<b>BorWin3 (BorWin gamma – Emden/Ost)</b>
 <p data-bbox="188 896 726 929">Verlauf Landtrasse (blau) (Gebhardt &amp; Horn 2012)</p>	
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Von Hamswehrum (Anlandepunkt) bis UW Emden-Ost (Konverter)</p> <p>Länge: 28,4 km</p> <p>Verläuft an Land parallel zu BorWin4 (in Planung) und DoWin3 (bis zur Querung des Ems-Jade-Kanals)</p>	<p><b>Technische Merkmale</b></p> <p>600 kV-HGÜ-Kabel (TenneT 2015)</p> <p>Übertragungsfähigkeit: 900 MW, zwei Kabel</p> <p>Verlegetiefe im Graben: 1,3 m (Oberseite Kabel), Abstand zwischen den Kabeln: 40 cm</p> <p>HDD-Bohrungen zur Querung von Straßen, Bahnlinien, Gewässern, Deichen etc., dabei Einzug der Kabel in Rohre, Abstand der Kabelrohre untereinander mind. 1 m</p> <p>Muffenabstand: 1.150 m</p>
<p><b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b></p> <p>Anstehender Boden: Grundwasserbeeinflusster Marschboden (Kleimarsch, Knickmarsch)</p> <p>Hohe Empfindlichkeit bei „Moormarschen“ (Niedermoor mit Knickmarschauflage; Niedermoor mit Organomarschauflage; Hochmoor mit Knickmarschauflage). Die Querungslänge des seltenen Bodentyps beträgt ca. 6.700 m. → Hier sind erhebliche Auswirkungen zu erwarten. Risiko von Sackungen nach Wiederverfüllen. Erhöhter Kompensationsbedarf.</p> <p>Bettungsmaterial: ca. 0,5 m hohes Sandbett.</p> <p>Der Raum zwischen Kabel und Kabelschutzrohr (bei geschlossener Bauweise) wird zur besseren Wärmeabfuhr mit Bentonit abgefüllt.</p> <p>„Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Bodens, der hohen Grundwasserstände und der anthropogenen Überformung sind die Auswirkungen nur sehr begrenzt wirksam. Das Sandbett leitet die Temperatur schnell nach außen hin ab. [...] Böden mit einem hohen Wassergehalt besitzen dagegen eine hohe Wärmekapazität. [...]. Das Bodenwasser puffert demnach die Temperaturen im Einflussbereich des Kabels. Mit lokaler Erwärmung des Bo-</p>	

dens sind aufgrund des ganzjährig hoch anstehenden Grundwassers keine Austrocknungserscheinungen zu erwarten. Bezüglich der Lebensraumfunktion des Bodens kann es zu kleinflächiger Erhöhung von Wachstumsraten, des biologischen Stoffwechsels (Bodenatmung) und der Verlängerung von Wachstumsphasen (Keimung) kommen. Ein Einfluss auf Mikroorganismen im Unterboden ist nicht ausgeschlossen.“ (TenneT 2014a)

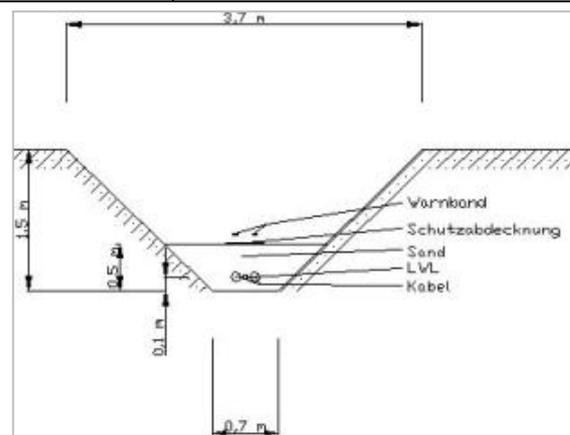
„Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aufgrund der bislang vorliegenden Erkenntnisse anzunehmen ist, dass sich die Bodenerwärmung nur auf das unmittelbare Umfeld des Kabelsystems beschränkt. Es ist daher [...] nicht davon auszugehen, dass die geringfügige Erwärmung zu relevanten Auswirkungen auf Grundwasserhaushalt, Boden, Biotopstrukturen und Habitate oder die landwirtschaftliche Nutzbarkeit der Flächen führt.“ (ebd.)

**Zeitlicher Ablauf**

20.10.2011	16.02.2015	2019
Scoping	PFB	Geplante Inbetriebnahme

**Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen**

Rekultivierung / fachgerechte Wiederherstellung betroffener Bereiche nach Bauende  
 Nach Ober- und Unterboden getrennter Wiedereinbau, Durchführung der Bauarbeiten bei trockener Witterung  
 Verwendung von Baustraßen und Baggermatten  
 Ökologische Baubegleitung, Bodenkundliche / Geotechnische Baubegleitung  
 Studie Bodenverhältnisse (Gebhardt & Horn 2012)



**Kabelgrabenquerschnitt (TenneT 2011)**

**Monitoring**

Durch ein Monitoring der Technischen Universität Delft sowie des Instituts für Energieversorgung und Hochspannungstechnik der Universität Hannover soll die Technik in Kooperation mit dem Kabelherstellerverband Europacable weiterentwickelt und in spätere Projekte integriert werden.“ (TenneT 2014, online)

**Nutzung / Gestaltung der Trasse**

Bisherige Nutzung:

Vorrangig Grünlandwirtschaft, weitgehend gehölzfrei

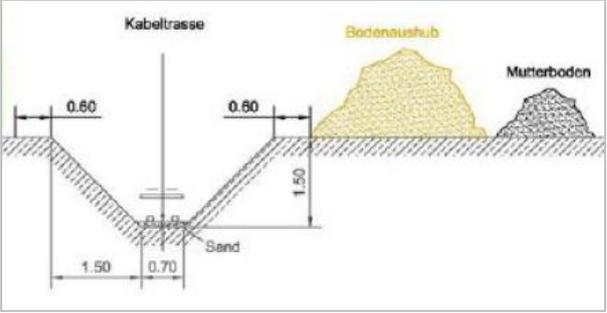
Nachnutzung:

„Zu querende Heckenstrukturen und Gebüsche sind durch Neupflanzung mit einheimischem, standortgerechtem Pflanzmaterial zu ersetzen. [...] Der Pflanzstandort ist so zu wählen, dass die Pflanzung im Eingriffsumfeld (jedoch nicht im zukünftigen Arbeits- / Schutzstreifen) erfolgt.“ (TenneT 2014a)

**Ansprechpartner**

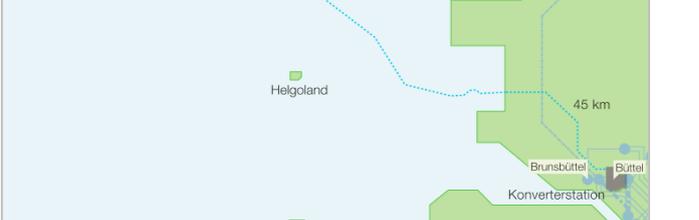
TenneT (Betreiber)	Planungs-Gemeinschaft LaReG (Naturschutzfachlicher Beitrag Landtrasse)	NLStV (Genehmigungsbehörde)	GZP (Bodenkartierung)	Prysmian (Kabelhersteller)
--------------------	---	-----------------------------	-----------------------	----------------------------

<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>	
<p>Gebhardt, S. &amp; Horn, R. (2012): Bodenverhältnisse entlang der Kabeltrassen.BorWin3 und BorWin4.</p> <p>NLStV (2015): Planfeststellungsbeschluss für die Netzanbindung BorWin3 der Offshore-Plattform BorWin gamma mittels einer 600-kV-Gleichstromleitung – Landtrasse.</p> <p>TenneT (2011): Machbarkeitsstudie BorWin3/DoIWin3 - Anlandepunkt Campen bis Umspannwerk Emden/Ost.</p> <p>TenneT 2012: 3 Bauausführung 3 - Baubeschreibung und Erläuterungen Landkabeltrasse.</p> <p>TenneT (2013a): Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 für den Bereich 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Emden/Ost – Landtrasse.</p> <p>TenneT (2013b): Natura 2000 - Verträglichkeitsstudie zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 - Landtrasse.</p>	<p>TenneT (2014a): Allgemeinverständliche Zusammenfassung der UVP gemäß § 6 UVPG zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 – Landtrasse.</p> <p>TenneT (2014b): Landschaftspflegerischer Begleitplan zur 600-kV-Gleichstrom-Leitung „BorWin gamma – Emden/Ost“ des Netzanbindungsprojektes BorWin3 - Maßnahmenblätter – Landtrasse.</p> <p>TenneT (2014c): BorWin3 - 900 MW starke Gleichstromverbindung – Projekt Factsheet.</p> <p>TenneT 2015: Baustart für elfte Netzanbindung: BorWin3-Landkabel wird verlegt. Pressemitteilung vom 23. März 2015.</p> <p>TenneT (o.J.): Projekt BorWin3: 160 Kilometer lange und 900 Megawatt starke Gleichstromverbindung. Online: <a href="http://www.TenneT.eu/de/netz-und-projekte/offshore-projekte/borwin3.html">http://www.TenneT.eu/de/netz-und-projekte/offshore-projekte/borwin3.html</a> [abgerufen: 13.04.15]</p>

<b>DE-HGÜ</b>	<b>DolWin beta – Dörpen/West (DolWin2)</b>
<b>Lage / Verlauf</b>	
<p>Landtrasse: Hilgenriedersiel bis zum UW Dörpen West  Länge: 92 km  Verläuft in der OSKA-Nord-Trasse parallel zu DolWin1, Abstand ca. 5 m</p>	
<b>Technische Merkmale</b>	
<p>600-kV-HGÜ-Erdkabel  Nennübertragungsleistung: 916 MW  Isolierung: Polymer-Dielektrikum  2 Aluminiumkabel, Leiterquerschnitt 2400 mm<sup>2</sup>  Grabentiefe: 1,5 m  Grabenbreite: 0,7 m (Sohle), 3,7 m (Oberkante)  Abstand zwischen Kabeln: 20 cm, bei Kreuzungen getrennt in Schutzrohren  Geschlossene Bauweise im Bereich von Straßenquerungen, Gräben, sensiblen Biotopen (Röhrichte, Gehölzstrukturen), Kompensationsflächen, FFH-Gebieten, potenziellen Bruthabitaten in den Ems-Außendeichflächen  Keine Muffenbauwerke</p>	
<b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b>	Trassenverlauf (TenneT 2015, online)
<p>Im Bereich der Unterbohrungen Einzug in Leerrohre, Raum zwischen Kabel und Kabelrohr wird zur besseren Wärmeabfuhr mit Bentonit abgefüllt  Bettung in ein ca. 0,3 - 0,5 m hohes Sandbett  Anstehender Boden im Projektgebiet: Marschböden, sandige Geestböden, Plaggenesch, Querung von empfindlichen Bodentypen (Moormarsch) auf 22.000 m<sup>2</sup> → erhebliche Bodenbeeinträchtigung  „Gutachten, die sich mit der Bodenerwärmung von Kabeln beschäftigen, kommen anhand ihrer Berechnungen zum Ergebnis, dass der Boden selbst bei hypothetisch angenommener Dauerlast der Kabel nur in einem ganz schmalen Streifen in unmittelbarer Nähe der Kabel erwärmt wird. Die Erwärmung der Erdoberfläche direkt oberhalb der Kabel liegt unter normalen Umständen bei nicht mehr als 2 K. Gravierende Beeinträchtigungen des Bodens sind bei dieser Größenordnung nicht bekannt.“ (NLS<sub>t</sub>V 2013)</p>	 <p>Standardkabelgraben HGÜ-Offshoreanbindung (TenneT 2012)</p>

<b>Zeitlicher Ablauf</b>				
05/2012	04/2013	08/2014	2016	
Einleitung des Verfahrens	Planfeststellungsbeschluss	Fertigstellung Landtrasse	Inbetriebnahme geplant	
<b>Baublauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen</b>				
<p>Naturschutzfachliche Baubegleitung, Bodenkundliche Baubegleitung und Baudokumentation im PFB vorgesehen.</p> <p>Wiedereinbau entnommenen Bodens in der vorgefundenen Horizontfolge; Aushub getrennt nach Bodenhorizonten lagern.</p> <p>Arbeiten im Watt- und Deichbereich nur in den Sommermonaten, daher 2jähriger Arbeitsrhythmus erforderlich.</p> <p>Der Umgang mit sulfatsauren Böden im Trassenbereich ist spätestens drei Monate nach Abschluss der Leitungsverlegung von der einzusetzenden bodenkundlichen Baubegleitung gegenüber der Unteren Bodenschutzbehörde zu dokumentieren.</p>				
Abb. 3: Bauarbeiten zu DoWin2 (ABB 2013, online)				
<b>Monitoring</b>				
„Der Landteil der Leitung unterliegt einer jährlichen Inspektion der Leitungstrasse in Form von Begehungen oder Befliegungen. Dabei wird der Zustand im Schutzbereich in Bezug auf evtl. neu hinzugekommene Baulichkeiten, Bewuchs bzw. Anpflanzungen und die Beschilderung festgestellt. Sollten Bäume und Sträucher die Leitung gefährden, werden diese [...] entfernt.“ (TenneT 2012)				
<b>Nutzung/Gestaltung der Trasse</b>				
Bisherige Nutzung: Vorwiegend Landwirtschaft, zahlreiche Fließgewässer / Kanäle, vereinzelt Feldgehölze, Baumreihen				
Nachnutzung: Für den Schutz der Leitung ist die Einrichtung eines Schutzbereiches beidseitig zur Leitungsachse erforderlich.				
„[...] dass [...] alle Maßnahmen zu unterlassen sind, die den Bestand oder den Betrieb der Leitungen gefährden oder beeinträchtigen können. Es dürfen keine Baulichkeiten errichtet oder tief wurzelnde Anpflanzungen vorgenommen werden. Leitungsgefährdende Bäume und Sträucher dürfen nicht im Schutzbereich der Leitung belassen werden. Der Vorhabenträger oder vom ihm beauftragte Dritte sind berechtigt, etwaigen auf dem Grundstück stehenden Wald im Schutzbereich zu entfernen und diesen Bereich von Bewuchs freizuhalten.“ (TenneT 2012)				
<b>Ansprechpartner</b>				
TenneT Offshore (Betreiber) Projektkoordinator: Johannes Weigel	SAG CeGIT (Technischer Teil) Projektbearbeiter: Ralf Temmeyer	Planungs-Gemeinschaft LaReG, Planungsbüro Laukhuf  (Naturschutzfachlicher Beitrag)	GZP (Bodenkundliche Baubegleitung, Bodenkartierung)	NLStV (Genehmigungsbehörde Landtrasse)

<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>	
<p>ABB (2013): Technologien für die Realisierung der Energiewende. Online:  <a href="http://www.abb.de/cawp/seitp202/fbbf930d7afa38c7c1257b44004aac34.aspx">http://www.abb.de/cawp/seitp202/fbbf930d7afa38c7c1257b44004aac34.aspx</a> [aktualisiert: 08.04.13   abgerufen: 13.04.15].</p> <p>GZP (2015): Netzanschlussprojekt DoWin2 - Abschlussbericht der bodenkundlichen Baubegleitung.</p> <p>NLStV (2013): Planfeststellungsbeschluss für die Netzanbindung DoWin2 der Offshore-Plattform DoWin beta mittels einer 600-kV-Gleichstromleitung - Landtrasse: Anlandungspunkt Hilgenriedersiel bis zum Umspannwerk Dörpen West. 23.04.2013.</p>	<p>TenneT (2010): Anhang 1 zum Erläuterungsbericht - Allgemein verständliche Zusammenfassung der UVP gemäß § 6 UVPG zur 600-kV-Leitung DoWin alpha - Dörpen West.</p> <p>TenneT (2012): Erläuterungsbericht zur 600-kV-DC Leitung DoWin beta – Dörpen/West des Netzanbindungsprojektes DoWin2 für den Bereich der 12-sm-Grenze bis Umspannwerk Dörpen/West - Abschnitt Landtrasse.</p> <p>TenneT (2015): Karte DoWin2. Online:  <a href="http://www.tennet.eu/de/fileadmin/_processed_/csm_2015_Offshore-Windparks_BorWin2_d_5e0e5da6ac.jpg">http://www.tennet.eu/de/fileadmin/_processed_/csm_2015_Offshore-Windparks_BorWin2_d_5e0e5da6ac.jpg</a> [aktualisiert: 2015   abgerufen: 13.04.15]</p>

<b>DE-HGÜ</b>	<b>HelWin1; HelWin2 SylWin1</b>
<p><b>Lage / Verlauf</b></p> <p>Von Anlandungspunkt bei Büsum bis UW Büttel (Konverter)</p> <p>Unterquerung des Nord-Ostsee-Kanals</p> <p>Länge Landtrasse : 45 km</p> <p>Gesamtlänge (Land- u. Seekabel):</p> <p>HelWin1 85 km</p> <p>HelWin2: 130 km</p> <p>SylWin1: 205 km</p> <p>Einzelgenehmigungen, kein PFV</p>	 <p>Trassenverlauf HelWin1 (TenneT 2014a)</p>
<p><b>Technische Merkmale</b></p> <p>HGÜ-VPE-Kabel</p> <p>Spannung:</p> <p>HelWin1: 250 kV</p> <p>HelWin2: 320 kV</p> <p>SylWin1: 320 kV</p> <p>Übertragungsfähigkeit:</p> <p>HelWin1: 576 MW</p> <p>HelWin2: 690 MW</p> <p>SylWin1: 864 MW</p> <p>Verlegung in Kabelgraben</p> <p>Verlegetiefe: ca. 1,20 m (Oberseite Kabel)</p> <p>Unterbohrung im Bereich von Gräben, Straßen, schützenswerten Bereichen, potenziellen Bruthabitaten in den Ems-Außendeichflächen</p> <p>Keine Muffenbauwerke</p>	 <p>Trassenverlauf HelWin2 (TenneT o. J.)</p>
<p><b>Bettungsmaterial, Bodenbeschaffenheit und -erwärmung</b></p>	 <p>Trassenverlauf SylWin1 (TenneT 2014b)</p>
<p>Abdeckung des Kabels mit einer 30 cm dicken Sandschicht</p> <p>Sandige Böden Richtung Küste, Übergang zu moorigen Böden Richtung Brunsbüttel, stark grundwasserbeeinflusst</p>	

<b>Zeitlicher Ablauf</b>			
09/2012	02/2015	04/2015	06/2015
HelWin1: Abschluss Bauarbeiten an der Landtrasse HelWin2 / SylWin1: Baubeginn	HelWin1: Inbetriebnahme	SylWin1: Inbetriebnahme	HelWin2: Inbetriebnahme
<b>Bauablauf/Baubegleitung/Vermeidung und Verminderung baubedingter Auswirkungen</b>			
Wattquerung: Kabelverlegung mit Spülschwert Einsatz von Baustraßen und Baggermatten bei zu hohem Maschinengewicht			
<b>Monitoring und</b>			
Keine Angaben verfügbar.			
<b>Nutzung/Gestaltung der Trasse</b>			
Keine Angaben verfügbar.		Kabelgraben HelWin1 (G.E.O.S 2012)	
<b>Ansprechpartner</b>			
TenneT (Betreiber) Marieke Dirks (Overall Project Manager HelWin2)	G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft (Bauüberwachung) HelWin1: Axel Hochgreve	Prysmian (Kabelhersteller)	Bohlen & Doyen (Bauausführung)
<b>Quellen und verfügbare Dokumente</b>			
<b>HelWin1</b> G.E.O.S. (2012): 31.08.Arbeiten am Landkabel des Kabelsystems HelWin1 Schleswig-Holstein abgeschlossen. Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung (GFN) (2012): Kabelverlegung HelWin 1 - Dokumentation der biologischen Baubegleitung Landtrasse. TenneT (2012): 380kV-Netzausbau Schleswig-Holstein – Planungsstand Juni 2012. TenneT (2014a): HelWin1 - Erster Netzanschluss in der östlichen Nordsee – Projekt Factsheet. TenneT (2015): Projekt HelWin1: Der erste Netzanschluss für Offshore-Windparks in der östlichen Nordsee. Online: <a href="http://www.TenneT.eu/de/netz-und-projekte/offshore-projekte/helwin1.html">http://www.TenneT.eu/de/netz-und-projekte/offshore-projekte/helwin1.html</a> [aktualisiert: 2015   abgerufen: 13.04.15]		<b>HelWin2</b> INROS LACKNER (2014): Naturschutzfachliche Baubegleitung entlang der HVDC-Landkabeltrasse im Rahmen der Netzanbindung HelWin2. TenneT (o.J.): HelWin2 - Netzanbindung für Windparks in der östlichen Nordsee. <b>SylWin1</b> INROS LACKNER (2014): Abschlussbericht der Biologischen Baubegleitung zur Landkabeltrasse SylWin1. TenneT (2014b): SylWin1 - 160 Kilometer langes Seekabel zum Anschluss von Windparks vor Sylt – Projekt Factsheet. <b>HelWin2 / SylWin1</b> Zeppelin Baumaschinen GmbH (2013): Trassenbau unter Strom. <a href="http://www.zeppelin-cat.de/presse/detail/artikel/trassenbau-unter-strom.html">http://www.zeppelin-cat.de/presse/detail/artikel/trassenbau-unter-strom.html</a> [aktualisiert: 16.09.13   abgerufen: 13.04.15]	

## **8.2 Wissensstand zur Erwärmung und Austrocknung des Bodens im Bereich von Erdkabeltrassen**

Im Hinblick auf die Beurteilung der Wirkungsweise betriebsbedingter Wärmeemissionen bestanden und bestehen Unsicherheiten. Um die Planungs- und Genehmigungsrelevanz dieses Wirkfaktors beurteilen zu können, werden belastbare Daten über die Veränderungen von Bodentemperaturen und Bodenfeuchte benötigt. Die Bewertung der Relevanz von Veränderungen erfolgt i. d. R. durch Vergleich mit einem (unbeeinflussten) Referenzzustand. Im Falle von Erwärmung und Austrocknung weist der Referenzzustand, abgebildet durch Ganglinien, beträchtliche jahreszeitliche und witterungsbedingte Schwankungsbreiten auf. Die Feststellung von Veränderungen setzt also voraus, dass entsprechend lange ganzjährige bzw. über das Jahr verteilte Messreihen vorliegen.

Die anschließenden Kapitel befassen sich mit den Ergebnissen der vorhabenbezogenen Erforschung von Wärmeemissionen in Feldversuchen sowie in Monitoringkonzepten.

### **8.2.1 Feldversuche zu Wärmeeffekten von Erdkabeln**

Ein Teil wissenschaftlicher Untersuchungen sind auf die Entstehung und Ausbreitung der Wärmeemission im und am Kabel bezogen. Hintergrund sind Fragen der Betriebssicherheit und der Kabelentwicklung (Haltbarkeit von Materialien etc.). Aus elektrotechnischer Sicht steht die optimierte Auslegung und thermische Stabilisierung der Kabelanlagen für verschiedene Lastfälle im Vordergrund (vgl. u. a. MOHRMANN U. HOFMANN 2012; TRINKS 2010). Dabei kommt es auf das Wechselspiel zwischen Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Bodens und der Auslastbarkeit des Erdkabels an.

In den zwei Feldversuchen des Übertragungsnetzbetreibers Amprion (Freiburg, Osterath) gehen die Fragestellungen über rein technische Aspekte hinaus: neben der Frage der thermischen Stabilisierung etwa durch Bettungsmaterialien wurden Temperatur- und Feuchtemessungen durchgeführt, in erster Linie um die mit einer Erwärmung und ggf. Austrocknung verbundenen Effekte auf die landwirtschaftliche Ertragsfähigkeit zu erfassen. Die Messreihen, die insgesamt über einen Zeitraum 10 Jahren an zwei Standorten durchgeführt wurden, liefern erste Einschätzungen über den Einfluss einer Wärmequelle auf die vertikale Temperatur- und Bodenfeuchteverteilung.

Im Folgenden wird der Wissensstand der bisherigen Feldversuche (Freiburg und Osterath) zusammengefasst wiedergegeben. Ergänzend wird das Konzept erläutert, mit dem erstmals Bodentemperatur und -feuchte unter Reallastbedingungen am Standort Raesfeld ermittelt werden sollen.

## Feldversuche am Standort Freiburg

Die Erwärmung und Austrocknung des Bodens unter „kontrollierten“ Betriebsbedingungen<sup>98</sup> wurde in zwei Feldversuchen (Freiburg, Osterath) inzwischen über einen Zeitraum von 10 Jahren untersucht.

Das Freiburger Feldexperiment wurde von 2006 bis 2009 im Auftrag von Amprion an einem Versuchsstandort der Universität Freiburg durchgeführt. Die erste Veröffentlichung von Messergebnissen aus dem „Freiburger Feldexperiment“ erfolgte 2009 (UTHER ET AL. 2009). Ziel des mehrjährigen Feldexperiments war es, die ökologischen Auswirkungen von Erdkabeln<sup>99</sup> auf den Wärmehaushalt des Bodens zu erfassen. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob die Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Bodens ausreicht, um eine Überhitzung des Kabels zu verhindern (Uther 2009, 67).<sup>100</sup> Für den Versuch wurde der Betrieb eines Erdkabelsystems simuliert. Dazu wurden drei jeweils 3 m lange Warmwasserrohre in ca. 1,6 m Tiefe in einem Sandbett verlegt<sup>101</sup> In der Versuchsfläche (ca. 4 x 5 m) wurden seitlich und oberhalb der Rohre Temperaturmessfühler und Bodenfeuchtemesser eingebaut. In 5 m Entfernung wurde eine Kontrollfläche in gleicher Weise mit Messfühlern ausgestattet.

Der Versuch umfasste verschiedene Teilerperimente, mit denen der Einfluss verschiedener „Betriebszustände“ auf Bodentemperatur und Bodenwasserhaushalt ermittelt werden sollte (UTHER ET AL. 2009; Trüby 2012; Trüby et al. 29.05.2015):

*Pulsexperiment:* Beginnend bei 35° C wurde die Temperatur jeweils für einen Zeitraum von sieben Tagen um 5 °C erhöht. Danach folgten jeweils Abkühlungsphasen gleicher Dauer. Die Maximaltemperatur lag bei 70 °C. Die Wärmeausbreitung im Boden wurde jeweils in vertikaler und lateraler Richtung erfasst (UTHER ET AL. 2009, 67).

*Ergebnis:* Die Heizdynamik macht sich erst ab einer Tiefe von 65 cm (also noch in relativer Nähe zur Wärmequelle) bemerkbar. An der Bodenoberfläche, bis zu einer Tiefe von 10 cm, werden die Bodentemperaturen von den tages- und jahreszeitlichen Schwankungen überprägt. Unter dem Pulsexperiment kam es zu keinen an der Bodenoberfläche messbaren Temperaturerhöhungen. Auch traten keine Austrocknungserscheinungen auf. Etwaige Wasserverluste (Verdunstung) wurden offenbar durch Niederschläge ausgeglichen (ebda, 67 f.).

*Grundwasserexperiment:* Zur Simulation des GW-Einflusses wurde Grundwasser in den Sandkörper bis zur Sättigung eingepresst. Damit wurde die Wärmeaufnahme- und Leitfähigkeit des Sandbettes wesentlich erhöht und die Wärmeableitung demzufolge verbessert (ebda, 68).

*Ergebnis:* Bei einer Wassersättigung des Bodens sind aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit keine lokalen Temperaturerhöhungen zu erwarten (ebda, 68). Der Einfluss der Erwär-

---

<sup>98</sup> In den Feldversuchen wurden unterschiedlich hohe Wärmeemissionen über definierte Zeiträume erzeugt.

<sup>99</sup> Hier verstanden als Auswirkungen auf die Bodentemperatur (Gradienten) und Austrocknungseffekte im Boden als Grundlage für die Beurteilung möglicher Effekte auf die Ertragsfähigkeit; d. Verf.

<sup>100</sup> Uther et al. (2009); Trüby u. Uther (22.02.2011).

<sup>101</sup> Angaben zur Überdeckung liegen in den schriftlichen Publikationen nicht vor (d. Verf.).

mung auf den Bodenwasserhaushalt (im nicht wassergesättigten Boden) war nach den Messergebnissen „irrelevant“ (ebda, 70). Ein Effekt der gepulsten Wärmezufuhr auf den Bodenfeuchtegehalt ließ sich in keinem Fall erkennen. Die Wassergehaltsänderungen waren vielmehr an Niederschlagsereignisse gekoppelt und folgten dem Jahresgang. Nach Uther et al. (2009, 74) sind die thermisch induzierten Wassergehaltsänderungen im durchwurzelten Bodenraum „ökologisch bedeutungslos“ (ebda, 74).

*Langzeitexperiment:* Im Langzeitexperiment wurde eine hohe Kabelauslastung mit Temperaturen zwischen 60 und 70° C über einen längeren Zeitraum simuliert. Dies entspricht einem Worst-Case-Szenario (ebda, 68).

*Ergebnis:* In unmittelbarer Umgebung der Wärmequelle waren deutliche Temperaturerhöhungen von bis zu 55 K festzustellen. Nach einer Periode von 18 Tagen Aufheizung waren Temperaturveränderungen in 40 cm Tiefe messbar. Dies lässt den Schluss zu, dass erst bei einer darüber hinausgehenden Emissionsdauer erwartet werden kann, dass Temperaturerhöhungen den Wurzelraum bzw. die Bodenoberfläche erreichen (ebda, 68).

Dauer und Stärke der simulierten Wärmeemission gingen im Versuch über den Normalbetrieb hinaus. Die Ergebnisse beziehen sich also auf den „Worst case“. Ihre Signifikanz dürfte unter Reallast noch geringer sein.

Der Vergleich der Temperaturverläufe (Kabeltrasse/Kontrollfläche) im Freiburger Feldversuch zeigt, dass das jahres- und tageszeitliche Temperaturregime die Temperaturen in den oberen Bodenschichten in den Sommermonaten dominiert. Die durch Erdkabel (Simulation) induzierte Temperaturerhöhung in grundwasserfernen bzw. wechselfeuchten Böden beträgt lediglich 2 bis 3 (Normalbetrieb) bzw. bis 5 K (Maximallast). Die Erhöhung liegt damit „im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite“ (Uther et al. 2009; Trüby u. Aldinger 2013; Trüby et al. 29.05.2015). Die ökologisch relevanten Wirkfaktoren verändern sich gegenüber dem natürlichen Schwankungsbereich nur in geringem Umfang, so dass auch die Folgeeffekte von Erwärmung und Austrocknung des Trassenbereichs nur geringfügig sein dürften.

TRÜBY (2012) weist jedoch darauf hin, dass die Temperaturerhöhungen dem Jahresgang der Temperaturen „aufgesetzt“ sein können. Im Bereich der Kabeltrasse könne es also grundsätzlich wärmer als außerhalb der Trasse sein. Daher könnten – obwohl die Temperaturdifferenzen nur gering sind – Einflüsse auf die Produktivität bzw. Ertragsfähigkeit langfristig nicht ausgeschlossen werden (Trüby 2012). Bei wassergesättigten, grundwasserbeeinflussten Böden ist die durch das Erdkabel verursachte Temperaturerhöhung im Oberboden nach derzeitigem Kenntnisstand vernachlässigbar; Austrocknungseffekte spielen keine Rolle.

### **Feldversuche am Standort UW Osterath**

Der Feldversuch erfolgte an einer 110-kV-Erdkabelanlage im Bereich des UW Osterath. Es handelt sich um eine Anschlussleitung. Das Kabel wurde zu Testzwecken abschnittsweise in verschiedene Bettungsmaterialien verlegt. Der Feldversuch zielte auf die Erforschung der Erwärmung bei Nutzung verschiedener Bettungsmaterialien sowie auf die Effekte von Erwärmung und Austrocknung auf die Ertragsfähigkeit ab (vgl. Brüggmann et al. 2015, 1).

*Temperaturentwicklung bei verschiedenen Bettungsmaterialien:* Die Messungen erfassten den Jahresgang der Temperaturen oberhalb der 110-kV-Erdkabel; jedes Bettungsmaterial war repräsentiert. Auf einer Referenzfläche („Kontrolle“) wurde der unbeeinflusste „Normalzustand“ im Jahresgang erfasst. Die Messung der Temperaturentwicklung im Kabelgraben („Versuch“) erfolgte jeweils in 3 cm und 20 cm Bodentiefe ermittelt. Die folgende Tabelle 9-1 zeigt, dass bei einer Maximalauslastung des Kabels die Temperaturdifferenz zur Kontrollfläche in 3 cm Tiefe zwischen 3,2 und 3,9 K (Medianwert) beträgt. Bei einem Betrieb entsprechend der Auslegungslast liegt die Temperatur nur um 2,3 und 2,9 K (Medianwert) höher. In 20 cm Tiefe beträgt die Temperaturdifferenz bei Betrieb unter Maximallast je nach Bettungsmaterial zwischen 5,1 und 5,7 K, unter Auslegungslast zwischen 3,3 und 3,7 K.

Im Vergleich zu den auf der Kontrollfläche gemessenen Werten (nicht in der Tabelle) erscheinen die Temperaturerhöhung und damit die Wirkintensität der Wärmeemission gemessen am Normalverlauf der Bodentemperaturen im Jahresgang gering. Dies geht in dieselbe Richtung wie die im Freiburger Feldversuch gewonnenen Erkenntnisse und erhärtet somit die dort getroffenen Einschätzungen.

Tabelle 8-1: Temperaturveränderungen über 110-kV-Kabeln am Standort UW Osterath (Trüby et al. 29.05.2015)

Übersicht über die Temperaturdifferenzen zwischen Kontrolle und Versuch						
Variante	Sand		Flüssigboden		Magerbeton	
Tiefe (cm)	20	3	20	3	20	3
Technische Maximallast (2012)						
Median	5,1	3,2	5,7	3,9	5,6	3,6
Mittel	4,6	3,2	5,2	3,8	4,6	3,1
Max	10,4	11,9	9,5	9,3	8,5	6,3
Min	0,5	-0,9	0,6	-2,3	-3,6	-1,2
Auslegungslast (2013)						
Median	3,3	2,3	3,7	2,9	3,6	2,3
Mittel	3,5	2,5	4,2	3,2	3,7	2,6
Max	6,9	10,1	7,8	6,9	6,8	10,0
Min	0,7	-1,1	1,8	-0,2	1,3	-1,2

*Ertragsfähigkeit auf der 110-kV-HDÜ-Trasse am Standort Osterath:* Aus dem „Freiburger Feldversuch“ war keine direkte Übertragung der Erkenntnisse über die Ertragsfähigkeit in die landwirtschaftliche Praxis möglich. Ergänzend wurden im Auftrag von Amprion 2011 Versuchsflächen auf 110-kV-Kabeltrassen in der Umspannanlage Meerbusch-Osterath (UW Osterath) angelegt, auf denen die Auswirkungen der Kabelerwärmung auf landwirtschaftliche Nutzflächen und deren Ertragsfähigkeit ermittelt wurden (vgl. u. a. BT-Drucksache 17/11871, 3; Trüby et al. 29.05.2015). Die Testflächen unterscheiden sich hinsichtlich der verwendeten Bettungsmaterialien. Bisher wurden die Erträge der Anbauversuche mit Mais, Winterweizen und Kartoffeln auf der Kabeltrasse einmal erfasst. Es ließen sich im Vergleich zum Kontroll-

feld keine Mindererträge feststellen. Der Ertrag lag sogar leicht über denen der Kontrollfläche. Zu beobachten war ein früheres Auflaufen der Saat, was als Vorteil gesehen werden kann (Trüby et al. 29.05.2015).

*Übertragbarkeit der Ergebnisse:* Die am Standort Osterath gewonnenen Erkenntnisse über die Wärmeemissionen von Kabelanlagen sind auf 380-kV-Drehstrom-Anlagen und – mit geringen Anpassungen – auch auf HGÜ-Kabelanlagen übertragbar. Auch die Erkenntnisse über Erwärmungs- und Austrocknungseffekte sind nach Aussagen von Uther (schriftl. Kommentar) auf typische terrestrische Böden Deutschlands übertragbar.

### **8.2.2 Monitoring unter Reallast am Standort Raesfeld**

Die bisherigen Feldversuche erfolgten unter „kontrollierten“ Bedingungen. Am Standort Raesfeld sollen die betriebsbedingten Effekte einer 380-kV-HDÜ-Erdkabelanlage auf Bodentemperatur und Bodenfeuchte erstmals unter Reallastbedingungen im Rahmen eine „Monitorings“ ermittelt werden. Die Inbetriebnahme des Kabels ist für 2016/2017 geplant, erste Messdaten dürften nach Durchlauf einer vollen Vegetationsperiode zu erwarten sein.

Das Monitoringkonzept umfasst nach Amprion u. ERM (o. J.) ein

- bodenökologisches Monitoring (thermische Auswirkungen, Bodenfauna) und ein
- ertragskundliches Monitoring (pflanzenbaulicher Versuch; Ertragsermittlung mittels Infrarotluftbildern).

Für das bodenökologische Monitoring und den pflanzenbaulichen Versuch wurden Versuchsflächen auf der Trasse angelegt, auf denen die Temperaturentstehung und -ausbreitung sowie die Entwicklung der Bodenfeuchte unter realen Betriebsbedingungen ermittelt werden können.

Ausgangspunkt des bodenökologischen Monitorings ist eine Grunddatenerhebung der bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter sowie zur Ökologie (C/N-Verhältnis; Regenwurmabundanz und -aktivität).

Zur Erfassung der vertikalen und lateralen Bodenfeuchteverteilung wurde ein permanentes Sensorfeld im Trassenbereich angelegt (vgl. Amprion u. ERM o. J.;14). Der Aufbau des Sensorfeldes erfolgt analog zum „Freiburger Experiment“ und dem „Kabeltest Osterath“ (Amprion u. ERM o. J.). Darüber hinaus sollen „mobile Messungen“ in temporären Sensorfeldern auf der Trasse und in einem Kontrollstreifen außerhalb der Trasse erfolgen.

Die Versuchsanlage ermöglicht die Langzeitbeobachtung der vertikalen Wärmeausbreitung unter realen Betriebsbedingungen im Abgleich mit den Temperaturganglinien auf der Kontrollfläche. Seit Winter 2014/2015 werden Messdaten (vor Inbetriebnahme des Kabels) aufgezeichnet.

Darüber hinaus ist am Standort Raesfeld ein bodenökologisches Monitoring vorgesehen.

Gegenwärtig bestehen keine Anhaltspunkte dafür, dass für die untersuchten Arten erhebliche potenziell schädigende Auswirkungen auftreten.

## **8.3 Erkenntnisse von Erdgas- und Fernwärmeleitungen und Übertragbarkeit**

### **8.3.1 Erdgasleitungen (EGL)**

Bei Erdgasleitungen (EGL) handelt es sich um einen Vorhabentyp mit vergleichbaren bau- und anlagebedingten Auswirkungen auf Natur und Landschaft. Während sich die Bauweise (offene Grabenbauweise bzw. grabenlose Bauweise) ähneln, unterscheiden sich die Vorhaben hinsichtlich der benötigten Dimensionen.

#### **Vorhabenmerkmale**

Große Ferntransportgasleitungen haben Nennweiten zwischen 1,0 und 1,4 m.<sup>102</sup> Sie werden mit einem Druck von > 1 bis zu 100 bar betrieben. Weitere Vorhabenskomponenten sind Pump- und Verdichterstationen, die in größeren Abständen (> 10 bis 100 km) errichtet werden. Der Verlauf der Leitung wird durch gelbe Pfähle markiert.

Die Sohlbreite des Rohrgrabens beträgt bei einer Übertragungsleitung zwischen 1,5 und 2,5 m. Der gesamte Arbeitsstreifen, in dem der Rohrgraben erstellt, Fahrbahnen eingerichtet, die bewegten Bodenmassen zwischengelagert sowie das noch nicht abgesenkte Rohr abgelegt wird, beträgt bspw. ca. 36 m (vgl. Hölschen 2011, 6). Der Rohrgraben nimmt hiervon nur einen kleinen Teil ein. Durch spezifische bauleistungsrechtliche Maßnahmen kann der Arbeitsstreifen in empfindlichen Bereichen auch schmaler gehalten werden (ebda).

Bei Erdkabelprojekten nimmt die Kabelgrabenbreite bei steigender Leistung und Kabelanzahl zu; das Vorhaben beansprucht unterirdisch mehr Raum in der Breite. Bei EGL nimmt nicht die Zahl der Rohre, sondern der Gasrohrdurchmesser zu. Der Kabelgraben wird etwas breiter und ggf. tiefer, um die Abstände zur Geländeoberkante einzuhalten.

#### **Verlegung**

Der Graben wird ausgehoben und die Rohre parallel zum Graben auf der Arbeitsfläche ausgelegt und verschweißt. Die verschweißten Rohre werden dann mit Hebekränen in den Graben gelegt. Dieser wird anschließend wieder verfüllt.

#### **Schutzstreifen**

Die Schutzstreifenbreite wird in Abhängigkeit von Nenndurchmesser und Betriebsdruck festgelegt. Für eine Gasleitung „mittlerer Größe“ (> DN 500) beträgt er 6 bis 8 m; größere Leitungen (> DN 1200) haben eine Schutzstreifen von 10 -12 m. Es wird zwischen einem „baufreien“ und einem holzfreien Schutzstreifen unterschieden. Beispielsweise wurde im Fall der OPAL-Leitung<sup>103</sup> (DN 1400) ein baufreier Leitungsschutzstreifen von 11,4 m und ein dauerhaft „holzfrei“ zu haltender Streifen von 6,4 m Breite (vgl. GL Berlin-Brandenburg 2009, 35 u. 18) festgelegt.

---

<sup>102</sup> Angegeben als DN im Millimetern.

<sup>103</sup> Die OPAL = Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (PN 100 bar) verläuft von Lubmin im Nordosten Mecklenburg-Vorpommerns nach Olbernhau im Süden Sachsens.

Ähnliches ist im Fall der geplanten NOWAL-Leitung<sup>104</sup> (DN 1200) vorgesehen: Innerhalb des baufreien Leitungsschutzstreifens von 10 m sollen 2,5 m beiderseits der Rohraußenkante holzfrei gehalten werden (insges. also 6,2 m). Die Abstände für den holzfreien Streifen entsprechen der „Soll-Vorschrift“ im DVGW-Arbeitsblatt GW 125. Aus dieser Schutzvorschrift für Gehölze wird im Umkehrschluss abgeleitet, dass ein solcher Abstand auch zum Schutz von Leitungen vor Beschädigungen durch Gehölze einzuhalten ist.

### **Anlagebedingte Auswirkungen**

Die Freihaltung des Schutzstreifens gilt als dauerhafte anlagebedingte Auswirkung. Nach den o. a. Regelwerken gilt als Grundregel, dass der Rohrgraben selbst und ein Streifen von i. d. R. 2,5 m beiderseits der Rohraußenkante gehölzfrei gehalten wird. In diesem Streifen dürfen keinerlei tiefwurzelnde Gehölze angepflanzt werden. Dies gilt ebenfalls für das Anpflanzen von Weihnachtsbäumen. Die Anpflanzung von Sträuchern hingegen ist unbedenklich (vgl. HÖHLSCHEN 2011, 7). Der dauerhaft freizuhaltende Schutzstreifen einer Gaspipeline mit einem DN von 1200 bis 1400 beträgt bei einem beidseitigen Schutzabstand von 2,5 m zw. 10 und 12 m. Im Vergleich dazu wäre der Schutzstreifen einer HDÜ-380-kV-Erdkabeltrasse mit 22,5 m knapp doppelt so breit.

Auswirkung auf den Wasserhaushalt, etwa durch den Anschnitt grundwasserführender Schichten oder Drainageeffekte des Gasleitungsgrabens, sind ebenso wie bei Erdkabeltrassen möglich. Sie sollen in der Bauphase durch Vorerkundungen und spezielle Vorkehrungen vermieden werden. So wird in entwässerungsempfindlichen Bereichen z. B. der Einbau von Tonriegeln quer zum Leitungsverlauf vorgeschrieben, um einen Längs-Drainageeffekt zu mindern.

Eine Behinderung bzw. Beeinträchtigung des oberflächennahen lateralen Grundwasserstroms durch Leitungen mit großem Durchmesser wird bisher nicht oder selten als potenzielle Beeinträchtigung genannt. Inwieweit sich hier Analogien zum Erdkabelanlagen herstellen lassen, muss gegenwärtig offen bleiben.

### **Bauzeitliche Auswirkungen**

Der Graben für Gaspipelines wird ca. 2 m breit ausgehoben, die Verlegetiefe muss eine Erdüberdeckung von 1 m ermöglichen. Auf beiden Seiten des Grabens werden Arbeitsstreifen angelegt. Aufgrund der geringeren Grabenbreite ist auch die Gesamt-Arbeitsstreifenbreite deutlich geringer als bei Erdkabeln. Sie beträgt im Offenland ca. 36 m und im Wald etwa 30 m. Die Arbeitsstreifenbreite ist im Offenland im Vergleich zu einer 380-kV-Erdkabeltrasse also deutlich kleiner.

Wie bei Erdkabeln liegt der Schwerpunkt auf der Beeinträchtigung des Bodens (vgl. SCHUCHARDT ET AL. 1999). Beim Erdgasleitungsbau sind die Störungswirkungen auf einen vglw. kurzen Zeitraum (einige Tage/Wochen) beschränkt. Im Fall der OPAL-Leitung wurden

---

<sup>104</sup> Die 26,8 km lange Erdgaspipeline „NOWAL“ (PN 100 bar) verläuft zwischen dem Erdgasspeicher Rehden in Niedersachsen (NI) und der Station Drohne in Nordrhein-Westfalen (NRW).

rein rechnerisch ca. 5 km Leitung/Woche verlegt.<sup>105</sup> Die bauzeitliche Störungsdauer ist vglw. kurz. Nach Rohrlegung kann der Graben – noch vor Fertigstellung der Gesamtrasse – abschnittsweise wieder verfüllt werden. Zeiträume für Wasserhaltung und Bodenlagerung sind somit ebenfalls vergleichsweise kurz. Nach diesem Prinzip kann auch bei Erdkabeltrassen eine Verkürzung der Offenlage erreicht werden, wenn Kabelschutzrohre verwendet werden.

### **Betriebsbedingte Auswirkungen**

Abgesehen von der Gewährleistung der Zugänglichkeit (Freihaltung der Trasse) gehen vom Betrieb der Erdgaspipeline keine betriebsbedingten Emissionen aus. Die Erdgastrasse wird nach dem technischen Regelwerk für Gasdruckleitungen (DVGW-Regelwerk) in einem ordnungsgemäßen und betriebssicheren Zustand gehalten, was in ehemals gehölzbestandenen Abschnitten eine regelmäßige Entfernung der Gehölze (Mähen, Mulchen) bedeutet.

### **Trassengestaltung und Trassenpflege**

Ein Regelwerk oder Vorgaben zur Trassengestaltung oder -pflege der Trassen unterirdischer Leitungen existieren weder für das Offenland noch für Waldquerungen.

Wie bei Erdkabeltrassen, ist auch der Schutzbereich der EGL-Trasse grundbuchlich gesichert, d. h. die Flächen befinden sich nicht im Eigentum des Gasnetzbetreibers. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird die landwirtschaftliche Nutzung im Anschluss an die Rekultivierung i. d. R. fortgesetzt. Ggf. werden Kompensationsverpflichtungen auf landwirtschaftlichen Flächen umgesetzt. Darüber hinaus bestehen keine Verpflichtungen oder Anreize für eine naturnahe Trassengestaltung auf Acker und Grünland.

In Bereichen, die unterbohrt oder unterpresst wurden, bleibt die ursprüngliche Vegetation erhalten. Auch Gehölze können in diesen Abschnitten stehen bleiben.

Ein Gestaltungs- und Unterhaltungsbedarf besteht in erster Linie bei Waldquerungen, wenn dort keine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung (Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtrieb) stattfindet.

Aufgrund der Freihaltungsregeln wird der „baumfreie“ Schutzstreifen zur Gewährleistung der Leitungssicherheit regelmäßig gemäht oder gemulcht. Außerhalb des baumfreien Streifens, auf dem Arbeitsstreifen und in den Randbereichen der Trasse kann eine Biotopentwicklung auch mit Gehölzen erfolgen. Zum Beispiel können in diesen Bereichen gestufte Waldränder entwickelt werden. Nach Stegink-Hindriks (19.02.2016, telefon.) sollte eine naturverträgliche Gestaltung der Übergänge zwischen Schneisenraum und Wald zur „guten fachlichen Praxis“ der Trassenpflege gehören. Vielfach werden derartige Maßnahmen von den Gasnetzbetreibern nur im Rahmen von Kompensationsverpflichtungen durchgeführt bzw. veranlasst. Aus eigenem Interesse werden die Möglichkeiten einer differenzierten Trassengestaltung mit dem Ziel eines möglichst hohen ökologischen Nutzens bisher nur unzureichend ausgeschöpft (vgl. auch HÖHLSCHEN 2015, mdl.)

---

<sup>105</sup> Die Bauzeit des 270 km langen Abschnitts der OPAL-Leitung in Brandenburg dauerte von April 2010 bis April 2011.

Gegenwärtig existieren keine Regeln oder Anreize, die Gasnetzbetreiber und Grundeigentümer motivieren könnten, die bestehenden Möglichkeiten einer naturverträglichen Trassenpflege auszuschöpfen. Bei günstigen Konstellationen (Entwicklungspotenziale, Finanzierung, Engagement der Akteure) können im Einzelfall jedoch positive Lösungen gefunden werden.

### **8.3.2 Fernwärmeleitungen**

#### **Vorhabenmerkmale**

Fernwärmeanlagen<sup>106</sup> dienen der Versorgung mit Heizwärme. Sie bestehen aus Rohrleitungen und ggf. mitgeführten Kabeln sowie Umform- und Regelstationen und sind für Betriebstemperaturen um 90 °C, z. T. auch bis zu 130 °C ausgelegt. Der Druck in Fernwärmeanlagen kann bis zu 16 bar betragen.

Die Fernwärmerohrleitungen (FWL) haben Durchmesser bis zu 0,4 m (DN 400). Das innere Rohr, in dem das Medium fließt, wird von einer Isolationsschicht umgeben. Diese ist zum Schutz vor Beschädigungen und Wassereintritt von einer weiteren Hülle umgeben. Die Verlegung kann in oder an Straßen, Geh- und Radwegen, in Grünanlagen sowie – vielfach weg- begleitend – in land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgen. Überwiegend befinden sich Fernwärmeleitungen in oder in der Nähe von Siedlungsbereichen, selten in der freien Landschaft. Fernwärmeleitungen werden – aus Kostengründen – wo möglich oberirdisch verlegt.

Anders als bei Kabelanlagen ist es bei Fernwärmeleitungen erwünscht, eine möglichst hohe Betriebstemperatur aufrecht zu erhalten. Ziel der Wärmenetzbetreiber ist es, die Wärmeverluste durch Dämmung so zu minimieren (vgl. WAGNER o. J., 11 f.), dass ein wirtschaftlicher Betrieb der Wärmenetze möglich ist.

#### **Verlegung**

Es werden i. d. R. zwei Fernwärmerohre (Vorlauf und Rücklauf) parallel verlegt. Die Trassenbreite richtet sich bei unterirdischer Verlegung nach der Nennweite der Rohre zzgl. der seitlichen Schutzabstände. Bei zwei Rohren mit DN 400 ist eine Fernwärmetrasse ca. 1,0 bis 1,2 m breit. Fernwärmerohrleitungen (FWL) mit DN 800 bis 1000 weisen bis zu 3 m Trassenbreite auf. Die Rohre werden i. d. R. in offener Bauweise im Erdreich verlegt<sup>107</sup> und in Sand- oder Recyclingmaterial gebettet. Im Regelfall beträgt die Erdüberdeckung über den Fernwärmerohrleitungen ca. 0,7 m.

#### **Sicherheitsabstände**

Zum Schutz der oberirdischen Anlage vor Beschädigungen werden Sicherheitsabstände festgelegt. So dürfen parallelverlegte Leitungen oder Bauwerke einen Abstand von 0,4 m

---

<sup>106</sup> Die Angaben entstammen Merkblättern mit Leitungsschutzanweisungen für Fernwärmeanlagen, u. a. SWKL (2009).

<sup>107</sup> Sie können aber auch in Schaumbeton- oder Bitumenverguss verlegt sein. Im Siedlungsbereich bzw. in Straßenräumen kann die Verlegung in Kanälen erfolgen. Diese Fälle werden hier nicht näher betrachtet.

nicht unterschreiten. Im Trassenbereich gelten besondere Sicherheitsanforderungen und Sorgfaltspflichten<sup>108</sup> für die Durchführung von baulichen Maßnahmen.

Baumpflanzungen sind auf der Trasse der FWL nicht erlaubt. Zwischen der Fernwärmerohrleitung und der Baumachse sind ein Abstand von mindestens 3,0 m sowie eine lichte Weite von mindestens 1,5 m einzuhalten. Dadurch sollen bei den oberirdisch verlegten FWL Schäden an der Ummantelung etwa durch herabstürzende Äste vermieden werden. Die Regelungen über einzuhaltende Mindestabstände werden durch die jeweiligen FWL-Betreiber festgelegt.

### **Anlagebedingte Auswirkungen**

Für Fernwärmeleitungen besteht nach Anlage 1, Nr. 19.7 des UVPG ab einer Länge von 40 km eine Pflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung. Kleinere Anlagen unterliegen einer allgemeinen oder standortbezogenen Vorprüfung des Einzelfalls. Handreichungen oder fachliche Empfehlungen zur vorhabenbezogenen Beurteilung der Auswirkungen fehlen weitgehend. Der Vorhabentyp ist planfeststellungspflichtig, jedoch werden Fernwärmeleitungen entgegen der Vorschriften häufig auch nur naturschutzrechtlich genehmigt und nicht planfestgestellt, insbesondere da die UVP-Vorprüfung häufig zu dem Ergebnis kommt, dass eine UVP nicht erforderlich ist. Die folgenden Aussagen stützen sich auf mündliche Auskünfte von Fernwärmebetreibern und eines Planungsbüros (Stanislawski 30.07.2015, telefon.).

Eine Vergleichbarkeit der Auswirkungen von Fernwärmeleitungen mit Trassenbreiten von 3 m ist allenfalls mit Offshore-Anbindungen gegeben. Hier stimmen die Vorhabendimensionen und Trassenbreiten näherungsweise überein. Der Vergleich mit 380-kV-HDÜ- oder HGÜ-Erdkabeln mit hohen Übertragungsleistungen ist nicht zielführend, da Vorhabendimensionen und daraus resultierende Anforderungen und die Trassengestaltung zu unterschiedlich sind.

### **Bauzeitliche Auswirkungen**

Die bauzeitlichen Auswirkungen sind im Falle einer unterirdischen Verlegung ebenfalls am ehesten mit Offshore-Anbindungen vergleichbar. Ansonsten gilt das oben Gesagte.

### **Betriebsbedingte Auswirkungen**

FWL werden mit gleichbleibend hohen Temperaturen, i. d. R. bis 90° C gefahren. Es werden Isolierungsmaterialien eingesetzt, um Wärmeverluste (= Emissionen) weitgehend zu mindern. Da das Fernwärmenetz nur im Winterhalbjahr betrieben wird, treten Wärmeemissionen nur saisonal auf.

Im Trassenbereich sind frühere Schneeschmelze, frühere Frostfreiheit oder früher einsetzendes Wachstum festzustellen was i. d. R. keine erheblichen Beeinträchtigungen darstellt. In niederschlagsarmen Phasen kann die Austrocknung und damit auch Trockenschäden verstärkt werden. Die Fernwärmeleitungen allein werden aber in der Regel nicht als Auslöser für Trockenschäden betrachtet. Da Erwärmungs- oder Austrocknungseffekte im Rahmen der

---

<sup>108</sup> So ist im Abstand von 0,5 m kein Maschineneinsatz, sondern nur noch Handschachtung erlaubt.

Genehmigungserfahrungen nicht als Konflikt bewertet werden, werden auch keine Maßnahmen oder gar ein Monitoring festgelegt.

### **Trassengestaltung und Trassenpflege**

Mit Ausnahme der Sicherheitsabstände gibt es keine Vorgaben zur Trassengestaltung. In der Regel richtet sich die Gestaltung nach der Nutzung (Verkehrsfläche, Straßenseitenraum, Grünanlage, landwirtschaftliche Nutzung).

## 8.4 Wald-Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL und charakteristische Arten

Tabelle 8-2: Waldlebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL

LRT-Nr.	LRT Bezeichnung	ggf. Kurzform	Charakteristische Baumarten	Charakteristische Straucharten
9110	Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum)	Hainsimsen-Buchenwald	Weißtanne, Bergahorn, Edelkastanie, Rotbuche, Fichte (Picea abies), Traubeneiche, Eberesche	Schwarze Heckenkirsche, Stechpalme (Ilex aquifolium)
9120	--/--			
9130	Waldmeister-Buchenwald (Asperulo-Fagetum)	Waldmeister-Buchenwald	Weißtanne, Bergahorn, Feldahorn, Edelkastanie, Rotbuche, Fichte (Picea abies), Hainbuche, Gew. Esche, Vogelkirsche, Traubeneiche, Stieleiche, Eberesche, Bergulme	Lorbeer-Seidelbast, Breitblättriges Pfaffenhütchen, Zweigriffliger Weißdorn, Gew. Seidelbast, Stechpalme (Ilex aquifolium), Alpen-Heckenkirsche, Rote Heckenkirsche, Kriechende Rose, Himbeere, Alpen-Johannisbeere, Roter Holunder, Weißbeeriige Mistel
9140	Mitteleuropäischer Subalpiner Buchenwald mit Ahorn und Rumex arifolius	Subalpiner Buchenwald	Weißtanne, Bergahorn, Rotbuche, Fichte, Eberesche	Felsen-Johannisbeere, Gebirgs-Rose, Breitblättriges Pfaffenhütchen, Alpen-Heckenkirsche, Schwarze Heckenkirsche, Himbeere, Großblättrige Weide, Heidelbeere
9150	Mitteleuropäischer Orchideen-Kalk-Buchenwald (Cephalantho-Fagion)	Orchideen-Buchenwald	Schneeball-Ahorn, Weißtanne, Elsbeere, Feldahorn, Bergahorn, Gew. Hasel, Rotbuche, Gew. Esche, Fichte (Picea abies), Vogelkirsche, Traubeneiche, Echte Mehlbeere	Lorbeer-Seidelbast, Breitblättriges Pfaffenhütchen, Alpen-Rose, Eibe, Gemeine Pimpernuss, Buchsbaum, Roter Hartriegel, Ein- und Zweigriffliger Weißdorn, Echter Seidelbast, Stechpalme, Liguster, Alpen-Heckenkirsche, Rote Heckenkirsche, Alpen-Johannisbeere, Kriechende Rose, Wolliger Schneeball, Gew. Schneeball
9160	Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Eichen-Hainbuchenwald (Carpinion betuli) [Sticlaro Carpinetum]	Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwald	Bergahorn, Hainbuche, Gew. Hasel, Rotbuche, Gew. Esche, Traubenkirsche (Prunus padus), Traubeneiche, Stieleiche, Winter-Linde	Kriechende Rose, Zweigriffliger Weißdorn, Gew. Pfaffenhütchen, Rote Heckenkirsche, Gew. Schneeball
9170	Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald (Gallo-Carpinetum)	Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald	Schneeball-Ahorn, Winter-Linde, Feldahorn, Edelkastanie, Hainbuche, Gew. Hasel, Rotbuche, Gew. Esche, Vogelkirsche, Traubeneiche, Stieleiche, Echte Mehlbeere, Elsbeere	Ein- und Zweigriffliger Weißdorn, Roter Hartriegel, Gew. Seidelbast, Gew. Pfaffenhütchen, Liguster, Rote Heckenkirsche, Schlehe (Prunus spinosa), Kriechende Rose, Wolliger Schneeball, Gew. Schneeball
9180*	Schlucht- und Hangmischwälder (Tilio-Acerion)	Schlucht- und Hangmischwälder	Schneeball-Ahorn, Feldahorn, Spitzahorn, Bergahorn, Gew. Hasel, Gew. Esche, Sommerlinde, Bergulme, Mehlbeere, Hainbuche, Traubeneiche	Felsen-Johannisbeere, Gebirgs-Rose, Breitblättriges Pfaffenhütchen, Gew. Felsenbirne, Roter Hartriegel, Alpen-Heckenkirsche, Rote Heckenkirsche, Stachelbeere, Schwarzer Holunder, Trauben-Holunder, Wolliger Schneeball, Alpen-Johannisbeere

## 8.5 Beispiele für bodenlebende stenotope Waldarten; hier: Waldkäfer

Vor dem Hintergrund der Frage nach der Empfindlichkeit von Arten gegenüber Barriereeffekten durch gehölzfreie Schneisen wurde in der nachfolgenden Tabelle eine Auswahl waldlebender Käferarten zusammengestellt, die eine enge Bindung an bestimmte Waldlebensräume aufweisen und gegenüber Habitatverlust und Habitatzerschneidung besonders empfindlich sind. Die aufgeführten Arten sind Anhang II-Arten der FFH-Richtlinie<sup>109</sup> einige Arten sind zugleich nach Anhang IV der FFH-Richtlinie geschützt und fallen damit unter den besonderen Artenschutz.

Die Querung ihrer Vorkommensgebiete würde einen Fall darstellen, in dem vom Erdkabelvorrang abgewichen werden kann, wenn eine Freileitung eine zumutbare und realisierbare Alternative darstellt. Erfüllt eine Freileitung diese Voraussetzungen nicht, wäre das Erdkabelvorhaben im Wege der Ausnahme zuzulassen. Für diesen Fall wäre es rechtlich möglich und fachlich plausibel, die Trassengestaltung und -pflege an den spezifischen Habitatanforderungen dieser stenotopen Arten auszurichten und hierfür ggf. von den strengen Vorgaben der Gehölzfreihaltung abzuweichen.

Tabelle 8-3: Auswahl geschützter, gegenüber Zerschneidung empfindlicher, waldlebender Käferarten<sup>110</sup>

FFH-Anhang II-Art	Lebensraum / Habitate	Gefährdungstatus / Gefährdungsfaktoren
<i>Cerambyx cerdo</i> Heldbock	Bewohner lichter halboffener Alteichenbestände sowie Parks oder Alleen mit Uralteichen.  Vorkommen in D: In den noch verbliebenen Hartholzauen, u. a. in BB, ST,	RL 1 vom Aussterben bedroht; Anhang IV-Art Intensive Forstwirtschaft  Lebensraumverlust durch Überbauung (Verkehrstrassen; Siedlung)  Verlust alter und morscher Bäume
<i>Cucujus cinnaberrinus</i> Scharlachkäfer	Tal- und Hanglagen verschiedener Bach- und Flussläufe; Auwald (Weichholz- und Hartholzau sowie in Bergmischwaldgesellschaften; Morsche Laubbäume  Vorkommen in D: wenige Vorkommen in Südbayern	RL 1 vom Aussterben bedroht; Anhang IV-Art Intensive Forstwirtschaft; Entwässerung  Verlust geeigneter Totholz-Brutbäume

<sup>109</sup> Habitate der Arten, die im Anhang II der FFH-Richtlinie aufgelistet sind, sollen durch Schutzgebietsausweisungen geschützt werden. Für diese Arten haben die Bundesländer Schutzgebiete im NATURA 2000-Netz gemeldet bzw. eingerichtet.

<sup>110</sup> vgl. BfN online ([https://www.bfn.de/0316\\_insekten.html](https://www.bfn.de/0316_insekten.html); [http://www.ffh-anhang4.bfn.de/ffh\\_anhang4-kaefer.html](http://www.ffh-anhang4.bfn.de/ffh_anhang4-kaefer.html) sowie verschiedene Webseiten der Bundesländer (Ausweisung von FFH-Gebieten).

FFH-Anhang II-Art	Lebensraum / Habitate	Gefährdungsstatus / Gefährdungsfaktoren
<p><i>Osmoderma eremita</i></p> <p>Eremit, Juchtenkäfer</p>	<p>Sehr alte, lichte Laubwälder; alte hohle Bäume sowohl in lichten Wäldern als auch einzeln stehend.</p> <p>Sekundär: Parkanlagen, Alleen oder Kopfbäume</p> <p>Vorkommen in D: MV, SN, TN; vereinzelt BY und BW</p>	<p>RL 2 Stark gefährdet; Anhang IV-Art; Schirmart;</p> <p>Verlust sehr alter Laubbaumbestände,</p> <p>Aufgabe historischer Waldnutzungsformen (z. B. Hudewaldwirtschaft)</p> <p>Verlust alter Bäume in Waldrandlagen oder an Alleen (z. B. im Rahmen von Verkehrsicherungsmaßnahmen)</p>
<p><i>Rosalia alpina</i></p> <p>Alpenbock</p>	<p>Wärmebegünstigte Bergmischwälder / gut belichtete Buchenhangwälder, in Kalkgebieten der montanen und subalpinen Höhenstufe. Bewohnt anbrüchiges (außen hartes und innen faules) Holz verschiedener Laubbäume</p> <p>Vorkommen in D: auf BW und BY begrenzt</p>	<p>RL 2 Stark gefährdet; Anhang IV-Art</p> <p>Intensive Forstwirtschaft</p> <p>Entfernung absterbende Bäume bzw. Totholz</p> <p>Umbau von Laub(misch)- in Nadelwald</p>
<p><i>Limoniscus violaceus</i></p> <p>Veilchenblauer Wurzelhals-Schnellkäfer</p>	<p>Wälder der Ebenen und niedrigen Lagen. Die Art benötigt dort bodennah größere ausgefallte Baumhöhlen in historisch alten Wäldern.</p> <p>Vorkommen in D: wenige Vorkommen in NI (u. a. Solling), RP, BY.</p>	<p>RL 1 vom Aussterben bedroht</p> <p>Intensivierung der Forstwirtschaft; Absinken des Grundwasserspiegels</p> <p>geringe Ausbreitungsfähigkeit (Urwaldreliktart)</p>
<p><i>Lucanus cervus</i></p> <p>Hirschkäfer</p>	<p>Alte Laubmischwälder, aber auch in großen und v. a. alten Parkanlagen.</p> <p>Das Bruthabitat hat eine zentrale Bedeutung innerhalb der Population. Erst die Vernetzung der Bruthabitate ermöglicht stabile Populationen.</p> <p>Vorkommen in D: in diversen FFH-Gebieten in RP, NRW,</p>	<p>RL 2 Stark gefährdet</p> <p>intensive Forstwirtschaft</p> <p>Entnahme/Verlust alter und morscher Laubbäume,</p> <p>Geringes Ausbreitungspotenzial</p>
<p><i>Stephanopachys substriatus</i></p> <p>Gestreifter Bergwald-Bohrkäfer</p>	<p>Kühle und v. a. große geschlossene Hochwaldgebiete mit Nadelwald und ausreichendem Alt- und Totholzbestand besiedelt.</p> <p>Vorkommen in D: Nachweis in BY im Bereich der Oberen Isar</p>	<p>RL 1 vom Aussterben bedroht</p> <p>Verlust bzw. Verringerung des Lebensraumes u. a. durch Baumaßnahmen</p> <p>Intensive Forstwirtschaft</p> <p>Entnahme von Alt- und Totholz</p>
<p><i>Carabus variolosus nodulosus</i></p> <p>Schwarze Grubenlaufkäfer</p>	<p>Erlenbrüche, Eschenwälder, an sumpfigen Ufern von Waldbächen, auf sumpfigen Waldlichtungen sowie auf nassen Wiesen an Bachufern und Rinnsalen. Die Standorte sind stets von Grund- oder Quellwasser geprägt.</p> <p>Vorkommen in D: NW (Arnsberger Wald) und BY (Südostbayern; dort auch in Hochmoorgebieten)</p>	<p>RL 1 vom Aussterben bedroht</p> <p>flugunfähiger Käfer ; extrem stenotop.</p> <p>Verlust bzw. Verringerung des Lebensraumes u. a. durch Baumaßnahmen</p> <p>Intensive Forstwirtschaft</p> <p>Entwässerung</p>

Ob Lebensräume und Vorkommen der aufgeführten Arten durch die geplanten Vollverkabelungstrassen tangiert werden, kann hier nicht beurteilt werden.

Über die in der Tabelle genannten Arten hinaus gibt es u. U. weitere bodenlebende Arten, die empfindlich gegenüber Habitatzerschneidung sind, deren Vorkommen und spezifische Lebensraumsansprüche in Bezug auf großräumige Ungestörtheit noch nicht im Einzelnen untersucht und bekannt sind. Bezüglich der Wirkungen gehölzfreier Schneisen im Wald auf stenotope Waldarten und ihre Austauschbeziehungen besteht weiterer Forschungsbedarf.

## 8.6 Maßnahmen zur Biotopentwicklung im Schutzstreifen

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (DVL 2014) wurden verschiedene Trassenpflegekonzepte für Hoch- und Höchstspannungsleitungen erfasst, die naturschutzfachlich sinnvolle Maßnahmen für die Unterhaltung von Freileitungstrassen vorsehen. In der nachfolgenden Tabelle sind auf Basis der Projektbeispiele Maßnahmen zusammengestellt, die für eine naturverträgliche Aufwertung von Schneisen grundsätzlich in Frage kommen.

Tabelle 8-4: Mögliche Maßnahmen der Biotopentwicklung im Schutzstreifen einer EK-Trasse (Zusammenstellung nach DVL 2014; ergänzt)

Maßnahmen (nach DVL 2014)	Eignung für EK (im Schutzstreifen)	Entwicklungsziel (nach DVL 2014)
<b>Offenhaltung durch extensive Bewirtschaftung</b>		
Extensive Beweidung mit Schafen Trift Koppelhaltung	ja	Standortabhängige Etablierung von Zwergstrauchheiden, Trocken- oder Magerrasen
Extensive ganzjährige Beweidung mit Rindern (Koppelhaltung)	ja	Standortabhängige Etablierung von Zwergstrauchheiden, Trocken- oder Magerrasen
Mahd mit festgelegtem Mahdzyklus und -technik	ja	Standortabhängige Etablierung von Zwergstrauchheiden, Trocken- oder Magerrasen
<b>Anlage gehölzbetonter Biotope</b>		
Aufbau strukturierter, gestufter Waldränder, u. a. durch selektiven Pflegehieb und/ oder Unterpflanzung mit einheimischen Laubbäumen	ja (im Bereich von Unterbohrungen); bedingt (Auswahl flachwurzelnder Gehölzarten)	Aufbau von Gehölz- und Krautsäumen; Erhöhung der Randeffekte; Verbesserung des Übergangs
Niederwaldbewirtschaftung	ja (im Bereich von Unterbohrungen) bedingt (Auswahl flachwurzelnder Gehölzarten)	Niederwaldbiotope, u. a. als Lebensraum für das Haselhuhn

Maßnahmen (nach DVL 2014)	Eignung für EK (im Schutzstreifen)	Entwicklungsziel (nach DVL 2014)
Anlage von Waldriegeln als Verbindung getrennter Waldbereiche	ja (im Bereich von Unterbohrungen) bedingt (Auswahl flachwurzelnder Gehölzarten)	Minderung der Zerschneidungswirkung; Wiederherstellung des Biotop- verbundes für bodenlebende Arten
Erhalt von stehendem Totholz und Anlage von Totholzhäufen	ja	Habitats für totholz-/höhlen- bewohnende Arten
Gehölzentwicklung mit zeitlich und räumlich differenzierter Pflege (Mulchen, Rückschnitt, Beweidung)	ja (im Bereich von Unterbohrungen) bedingt (Auswahl flachwurzelnder Gehölzarten)	(Partielle Gehölzfreihaltung), Aufbau von lockeren Gehölz-Magerrasen- Staudenfluren Mosaiken
<b>Maßnahmen für seltene Zielarten</b>		
Erhalt bzw. Herstellung offener Bodenstellen für wärmeliebende Arten	ja	Schlingnatter Heuschrecken Tagfalter
Pflanzung von Wildobstarten	ja (im Bereich von Unterbohrungen) bedingt (Auswahl flachwurzelnder Gehölzarten)	
Anlage von Kleingewässern	nein	

Von den im Bereich von Freileitungstrassen angewandten Maßnahmen sind die Maßnahmen zur Offenhaltung durch extensive Bewirtschaftung übertragbar. Die Maßnahmen zur Anlage gehölzbetonter Biotope unterliegen (mit Ausnahme des Erhalts von Totholz) der Einschränkung, dass nur flachwurzelnde Gehölzarten in Frage kommen oder die Maßnahme lediglich im Bereich von unterbohrten Streckenabschnitten durchführbar wären. Von den Maßnahmen für seltene Zielarten scheidet die Anlage von Kleingewässern über Erdkabelanlagen aus, während der Erhalt bzw. die Herstellung offener Bodenstellen für wärmeliebende Arten uneingeschränkt durchführbar wäre.

## 8.7 Risikoklassen gebietseigener Gehölze nach Wurzeltiefe

Tabelle 8-5: Risikoklassen gebietseigener Gehölze

Gebietseigene Gehölze (nach BfN [Hrsg.] 2009)	Risikoklasse stark durchwurzelt*	Risikoklasse max. Wurzeltiefe*
Feldahorn ( <i>Acer campestre</i> )	3	3
Spitzahorn ( <i>Acer platanoides</i> )	3	3
Berg-Ahorn ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	3	3
Schwarzerle ( <i>Alnus glutinosa</i> )	3	3
Grau-Erle ( <i>Alnus incana</i> )	3	3
Gew. Berberitze ( <i>Berberis vulgaris</i> )	3	3
Hänge-Birke ( <i>Betula pendula</i> )	2	3
Moor-Birke ( <i>Betula pubescens</i> )	2	3
Hainbuche ( <i>Carpinus betulus</i> )	2	3
Edelkastanie ( <i>Castanea sativa</i> )		
Kornelkirsche ( <i>Cornus mas</i> )		
Roter Hartriegel ( <i>Cornus sanguinea</i> )	1	2
Gemeine Hasel ( <i>Corylus avellana</i> )	3	3
Zweigriffeliger Weißdorn ( <i>Crataegus laevigata</i> )		
Eigriffeliger Weißdorn ( <i>Crataegus monogyna</i> )	3	3
Besenginster ( <i>Cytisus scoparius</i> )		
Gewöhnliches Pfaffenhütchen ( <i>Euonymus europaea</i> )	2	2
Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> )		
Faulbaum ( <i>Frangula alnus</i> )	1	2
Gemeine Esche ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	3	3
Gewöhnlicher Liguster ( <i>Ligustrum vulgare</i> )	2	2
Schwarze Heckenkirsche ( <i>Lonicera nigra</i> )		
Rote Heckenkirsche ( <i>Lonicera xylosteum</i> )	2	3
Holzapfel ( <i>Malus sylvestris</i> )	3	3
Silber-Pappel ( <i>Populus alba</i> )		
Zitter-Pappel ( <i>Populus tremula</i> )	2	3
Vogel-Kirsche ( <i>Prunus avium</i> )	2	3
Gewöhnliche Traubenkirsche ( <i>Prunus padus</i> )	2	3
Schlehdorn ( <i>Prunus spinosa</i> )	2	3
Wildbirne ( <i>Pyrus pyraeaster</i> )	3	3

Gebietseigene Gehölze (nach BfN [Hrsg.] 2009)	Risikoklasse stark durchwurzelt*	Risikoklasse max. Wurzeltiefe*
Traubeneiche ( <i>Quercus petraea</i> )		
Stieleiche ( <i>Quercus robur</i> )	3	3
Kreuz-/Wegedorn ( <i>Rhamnus cathartica</i> )	2	2
Hunds-Rose ( <i>Rosa canina</i> )		
Zimt-Rose ( <i>Rosa majalis</i> )		
Brombeere ( <i>Rubus fruticosus</i> )		
Silber-Weide ( <i>Salix alba</i> )	3	3
Sal-Weide ( <i>Salix caprea</i> )	3	3
Asch-Weide ( <i>Salix cinerea</i> )	2	3
Reif-Weide ( <i>Salix daphnoides</i> )		
Grau-Weide ( <i>Salix eleagnos</i> )	3	3
Bruch-Weide ( <i>Salix fragilis</i> )		
Schwarz-Weide ( <i>Salix myrsinifolia</i> )		
Lorbeer-Weide ( <i>Salix pentandra</i> )		
Purpur-Weide ( <i>Salix purpurea</i> )	2	3
Mandel-Weide ( <i>Salix triandra</i> )		
Korb-Weide ( <i>Salix viminalis</i> )		
Fahl-Weide ( <i>Salix x rubens</i> )		
Schwarzer Holunder ( <i>Sambucus nigra</i> )	3	3
Roter Holunder ( <i>Sambucus racemosa</i> )	3	3
Eberesche ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	1	3
Elsbeere ( <i>Sorbus torminalis</i> )	2	3
Winterlinde ( <i>Tilia cordata</i> )		
Sommerlinde ( <i>Tilia platyphyllos</i> )		
Bergulme ( <i>Ulmus glabra</i> )		
Flatterulme ( <i>Ulmus laevis</i> )		
Feldulme ( <i>Ulmus minor</i> )	3	3
Wolliger Schneeball ( <i>Viburnum lantana</i> )		
Gwöhnlicher Schneeball ( <i>Viburnum opulus</i> )	1	2

\* Angaben nach KUTSCHERA, LICHTENEGGER (2002), SINN (1982), ZINCo GMBH (2015); leere Felder: keine Angaben gefunden.

<b>Risikoklasse</b>	<b>Wurzeltiefe</b>	<b>Bewertung</b>
1	0-0,5 m	risikoarm
2	0,5-1 m	geringes Risiko
3	> 1m	hohes Risiko

## 8.8 Übersicht der in Tunnelbauwerken realisierten 380-kV-Leitungen

Tabelle 8-6: In Tunnelbauwerken realisierte 380-kV-Leitungen

Kürzel	Standort / Bezeichnung	Systeme/ Typ	Länge [km]	Inbetriebnahme	Bauweise	Betreiber / Projektinfos
DE	Berlin („Diagonale Berlin“)	2 / Öl 2 / VPE	15,7 12,9	2000	belüftete Tunnelanlage zur Querung Berlins.  Keine Übertragungsaufgabe  insg. 4 Kabel- und 3 Freileitungstrecken	50Hertz (ehemals BEWAG und Vattenfall)
	Köln-Niehl	1 VPE-Kabel	9	2016	Verbindung Gas- und Dampfturbinenwerk Niehl 3 mit Stromknotenpunkt Opladen.	Rheinenergie AG
ES 1	Madrid	2 / VPE	12,1	2003	2 parallele 380 kV-VPE-Kabel in Tunnelbauweise als Ersatz für Freileitung am Rande des Madrider Flughafens	Red Eléctrica de España – REE
UK	London					National Grid
	Elstree – St Johns Wood	1 /VPE	20	2005	±400 kV belüftete Tunnelanlage vom Zentrum in die Vorstadt  3 m Durchmesser, bis 42 m tief	
	West Ham – Hackney		6	2007	2 parallele Tunnel, 20-30 m tief Durchmesser: 4,2 m /2,8 ±400 kV und 132 kV	
	Croydon Tunnel	1	10	2011	±400-kV-Kabel Ersatz für bestehendes Ölkabel	
	Willesden – Hackney		20	vrsl. 2018		
	Kensal Green – Wimbledon		12			
AU	Wien	2	5,5	2006	2 parallele ±400 kV-Systeme, wassergekühlt  Unterdükerung von Marchfeldkanal und der Nord-Westbahn (20 m tief)	Wien Energie

## 9 Zusammenfassung

Im Zuge der Energiewende werden in Deutschland derzeit umfangreiche Ertüchtigungen und Erweiterungen des Höchstspannungs-(HöS)-Stromübertragungsnetzes geplant und umgesetzt. Dabei kommt auch die Erdkabeltechnologie zur Anwendung. Nach geltender Rechtslage kann sie bei Drehstromleitungen auf Teilstrecken einiger Pilotvorhaben eingesetzt werden, wenn bestimmte Voraussetzungen gegeben sind. Ein weiterer Anwendungsbereich besteht bei der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) im Zuge der Offshore-Anbindungen sowie bei ausgewählten HGÜ-Langstrecken-Verbindungen (Nord-Süd-Gleichstrompassagen).

Für die naturschutzfachliche Bewertung dieser Vorhaben im Rahmen der Genehmigungsverfahren fehlt es aber an aggregiertem Wissen über die zu erwartenden Vorhabendimensionen und die bau-, anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen von HöS-Erdkabelprojekten auf die Belange von Natur- und Landschaftsschutz. Auch die Potenziale eines ökologischen Trassenmanagements (ÖTM) auf Erdkabeltrassen und der Kompensationsbedarf und Kompensationsumfang zur Minderung der unvermeidbaren Eingriffe auf Natur und Landschaft sind noch nicht geklärt.

Ziel des Projektes ist es, die Wissensbasis zum Vorhabentyp HöS-Erdkabel sowie zur naturverträglichen Planung und Gestaltung von HöS-Erdkabeltrassen zu erweitern. Das Projekt setzt dabei auftragsgemäß einen Schwerpunkt auf Erdkabeltrassen im Wald (Schneisen). Folgende Fragestellungen wurden bearbeitet:

1. Welche HöS-Erdkabelprojekte wurden und werden aktuell im In- und Ausland realisiert oder geplant und können als Referenzen für die in Deutschland anstehenden HöS-Erdkabelanlagen herangezogen werden?
2. Welche Wirkfaktoren und Auswirkungen von HöS-Erdkabelprojekten sind potenziell planungs- und genehmigungsrelevant und welche Rolle spielen dabei insbesondere die betriebsbedingten Wärmeemissionen?
3. Welche Möglichkeiten einer naturverträglichen Trassengestaltung bestehen auf Erdkabeltrassen und welche Entwicklungsziele für die Trassengestaltung lassen sich insbesondere für Erdkabeltrassen im Wald ableiten? Wann ist eine Gestaltung mit Gehölzen aus Naturschutzsicht vorzugswürdig?
4. Welches Wurzelverhalten weisen Gehölze auf und welches Schadensrisiko geht von den Wurzeln für Erdkabel aus? Inwieweit kann das potenzielle Schadensrisiko differenziert werden, so dass eine Gehölzbestockung im Schutzstreifen in Betracht kommt?

### **Gesetzliche Grundlagen der Erdverkabelung**

Bei welchen Vorhaben eine (Teil-)Erdverkabelung möglich ist, ist im Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) bzw. im Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) festgelegt. Die Voraussetzungen, unter denen bei Hochspannungsdrehstromübertragung (HDÜ) eine abschnittsweise Erdverkabelung in Betracht kommt, sind im EnLAG festgeschrieben. Dies ist zum Beispiel bei Unterschreitung von Mindestabständen zu Wohnsiedlungen und Wohnhäusern der Fall. Auch wenn eine Freileitung gegen die Verbote des § 44 Abs. 1 BNatSchG verstieße und mit

dem Einsatz von Erdkabeln eine zumutbare Alternative im Sinne des § 45 Abs. 7 Satz 2 BNatSchG gegeben wäre, kann ein Teil der Leitung verkabelt werden.

Die Regelungen zur Erdverkabelung von HGÜ-Leitungen sind im BBPIG festgeschrieben. Demnach soll bei fast allen HGÜ-Langstrecken-Verbindungen die Erdverkabelung Vorrang haben. Freileitungsabschnitte sind hier die Ausnahme.

### Vorhabenmerkmale von Höchstspannungs-Erdkabelanlagen

Die technische Ausführung einer Höchstspannungs-Erdkabelanlage ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Stromübertragungsart, Übertragungsaufgabe und -leistung, Kabeltechnologie, Bau- und Betriebskonzepte und daraus resultierende Sicherheitsanforderungen, Standortgegebenheiten, etc. bestimmen, wie die konkrete technische Ausführung erfolgt. Für die Abmessungen von Erdkabelprojekten lassen sich daher nur Spannen angeben. In Abhängigkeit von der Übertragungsaufgabe und -leistung lassen sich die in Deutschland geplanten und realisierten Projekte wie folgt einteilen:

Typisierung nach Übertragungsaufgabe	Spannung [kV]	Übertragungsleistung [MW]	Kabeltyp / Anzahl Kabel (ohne met. return)	Anzahl der vsl. notwendigen Gräben	Schutzstreifenbreite [m]*
HGÜ-Offshore-Anbindungen	±250 bis ±320	600 - ca. 900 MW	1 oder 2 VPE-Kabel	1	ca. 5
HGÜ-Interkonnektor (hier: ALEGrO)	±400 bis ±525	>1.000	2 MI-Kabel** oder 2 VPE-Kabel	1	ca. 10
HGÜ-Langstrecken-Gleichstromverbindungen	±525	2.000***	4 MI-Kabel (oder 2 VPE-Kabel****)	1 oder 2 1	ca. 10-15 ca. 5-7,5
HDÜ-Erdkabelabschnitte	±380/ 400	3.600	12 VPE-Kabel	2	ca. 22-23

\* Annahmen bzw. maximale Werte aus Literaturlauswertungen

\*\* MI = mass-impregnated (Kabel mit Ölpapier-Isolierung)

\*\*\* Beim HGÜ-Korridor C laufen ggf. zwei Gleichstromverbindungen auf weiten Strecken parallel (4.000 MW). Die Anlagendimensionen ändern sich dementsprechend.

\*\*\*\* Anwendung noch unsicher. Technik ist in der Erprobung.

Bei der Kabeltechnologie geht die Tendenz zur Nutzung von VPE-Kabeln. Der leitende Kupferkern ist hier mit einer Schicht aus vernetztem Polyethylen ummantelt. Im HDÜ-Bereich sind VPE-Kabel bereits Standard. Bei HGÜ-Leitungen werden derzeit VPE-Kabel bis 320 kV eingesetzt, Kabel für höhere Spannungen sind in der Erprobung. Aktuell werden für höhere

Spannungen MI-Kabel genutzt. VPE-Kabel sind sehr leistungsfähig. Bei gleicher Übertragungsleistung wird bei Nutzung von VPE-Kabeln weniger Platz benötigt als bei MI-Kabeln.

Bei Höchstspannungs-Erdkabelvorhaben handelt es sich um Tiefbauprojekte. Die Bauzeit ist abhängig von der Dimension des Vorhabens. Für den Bau ist die Einrichtung von Bau- und Lagerflächen, Arbeitsstreifen und Zuwegungen notwendig. Diese müssen ggf. freigemacht werden. Für Bodenaushub, Kabelverlegung und Wiederverfüllung sowie für An- und Abtransporte werden schwere Fahrzeuge und Maschinen eingesetzt.

Die Kabel werden in der Regel in einer Tiefe von 1,5 – 1,7 m in einem oder mehreren offenen Gräben verlegt, entweder direkt in den Boden oder in einem Schutzrohr aus Kunststoff. Die Verlegetiefe hat Einfluss auf das Volumen des Bodenaushubs. Um zu verhindern, dass sich die Kabel thermisch negativ beeinflussen, sind Abstände zwischen den Kabeln notwendig, die projektspezifisch definiert werden. Die Abstände und Anzahl der Gräben sind maßgeblich für die Trassenbreite. Die Wärmeableitung vom Kabel wird ggf. durch eine spezielle Bettung unterstützt. Ziel ist eine homogene Wärmeableitung vom Kabel, um das Risiko lokaler Überhitzungen zu senken. Ob eine spezielle Bettung nötig ist und welche Materialien dafür zum Einsatz kommen (Sand, sog. Flüssigboden, Magerbeton), hängt von den örtlichen Bodenbedingungen wie z. B. Wasserhaushalt oder Wärmeleitfähigkeit ab.

Da aufgrund des hohen Gewichts die Lieferlänge der Kabel begrenzt ist, werden die einzelnen Kabelabschnitte durch Muffen miteinander verbunden. Die Muffen können entweder ebenfalls in den Boden gelegt oder in festen Muffenbauwerken untergebracht werden. Muffenbauwerke sind i. d. R. über einen Schacht zugänglich.

Eine Querung von nicht zu umgehenden Hindernissen wie Straßen, Fließgewässern oder Kanälen erfolgt durch Unterbohrung oder Unterpressung. Für längere Abschnitte kommt als grabenlose Bauweise das Micro-Tunneling-Verfahren in Betracht.

Zum Schutz der Erdkabelanlage vor äußeren Einflüssen wird ein Schutzstreifen festgelegt. Er umfasst den Kabelgraben zuzüglich der beiderseits angrenzenden Bereiche. In den ausgewerteten Projektunterlagen waren dies zwischen 2,0 und 2,5 m gemessen von der Kabelachse des jeweils äußersten Kabels. Der Schutzstreifen muss laut Sicherheits- und Freihaltebestimmungen der Netzbetreiber von Bauwerken und tiefwurzelnden Gehölzen mit einer Wurzeltiefe von > 1 m freigehalten werden. Eine landwirtschaftliche Nutzung ist im Schutzstreifen uneingeschränkt möglich.

Während des Betriebs gehen vom Kabel Emissionen von Wärme und von magnetischen Feldern aus.

### **Umweltauswirkungen von Erdkabeln**

Mit der Realisierung von Erdkabelprojekten sind bau-, betriebs- und anlagebedingte Auswirkungen verbunden, die planungs- oder genehmigungsrechtlich relevant sein können.

Die baubedingten Auswirkungen bilden den Schwerpunkt. Wesentliche Wirkfaktoren sind die Baufeldfreimachung, mechanische Belastungen des Bodens durch Befahren und Umlagerung, Wasserhaltung und Drainage sowie Schadstoff- und Staubemissionen. Die Auswirkungen betreffen vornehmlich den Boden und den Wasserhaushalt, aber auch Arten und Le-

bensräume sind z. B. im Zuge der Baufeldfreimachung betroffen. Durch die Einbeziehung von Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen und erfolgreicher Rekultivierung sind die baubedingten Auswirkungen zumeist zeitlich begrenzt.

Anlagebedingte Auswirkungen können durch die dauerhafte Freihaltung vormals gehölzbestandener Abschnitte entstehen. Dies führt zum Lebensraumverlust und zur Fragmentierung funktionaler Beziehungen von (Wald-) Lebensräumen. Außerdem kann durch das Einbringen undurchlässiger Materialien eine (unterirdische) Versiegelung entstehen, die Auswirkungen auf den Boden (Standortveränderung) und den Wasserhaushalt (Versickerung, Grundwasserzug) haben kann.

Die betriebsbedingten Auswirkungen auf den Boden und den Wasserhaushalt sowie auf den Boden als Lebensraum durch Wärmeabgabe des Stromleiters sind nach bisherigem Kenntnisstand gering. Die Temperaturveränderungen an der Bodenoberfläche liegen nach den Ergebnissen der bisher durchgeführten Feldversuche im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite. Eine Bodenaustrocknung im Wurzelraum ist nicht zu erwarten. Durch ein ökologisches Monitoring bei künftigen Vorhaben, sollte die derzeit schmale empirische Basis verbreitert werden.

Auswirkungen magnetischer Felder auf im Boden oder in Bodennähe lebende Organismen sind bisher nicht untersucht, so dass über die Risiken keine Aussagen getroffen werden können.

### **Umweltauswirkungen HDÜ und HGÜ im Vergleich**

Die Wirkfaktoren und Wirkzusammenhänge sind bei HDÜ- und HGÜ-Vorhaben vergleichbar. Sie unterscheiden sich aber in ihrer Dimension. So sind Trassen von HGÜ-Leitungen bei vergleichbarer Übertragungsleistung schmaler als Trassen von HDÜ-Leitungen. Die bau- und anlagebedingten Umweltauswirkungen sind bei HGÜ-Leitungen dementsprechend tendenziell geringer. HGÜ-Leitungen weisen des Weiteren im Betrieb eine geringere Wärmeemission auf. Außerdem ist das magnetische Feld statisch und die magnetische Flussdichte geringer als bei HDÜ-Leitungen.

### **Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen**

Baubedingte Auswirkungen können insbesondere durch eine Umweltbaubegleitung vermindert oder vermieden werden. Die Baubegleitung zielt einerseits darauf ab, Maßnahmen und Vorkehrungen, die das Eintreten artenschutzrechtlicher Verbotstatbestände verhindern sollen, sachgerecht umzusetzen (sog. Ökologische Baubegleitung). Ein weiterer Schwerpunkt ist die Umsetzung und Einhaltung von Maßgaben zum Schutz vor irreversiblen Bodenbeeinträchtigungen (z. B. Befahrungsverbote zum Schutz vor Bodenverdichtung).

Eine Möglichkeit, Eingriffe in wertvolle Lebensräume zu verhindern, ist die geschlossene Bauweise in Form von Unterbohrungen oder Micro-Tunneling. Hierdurch entfallen die Freimachung der Trasse sowie die Anlage eines offenen Grabens mit entsprechender Bautätigkeit. Gleichwohl sind Risiken (z. B. Auftreten von Ausbläsern) mit entsprechenden Umweltauswirkungen auch bei der geschlossenen Bauweise nicht auszuschließen. Hier ist im Einzelfall abzuwägen.

Eine alternative Art der Kabelverlegung ist die Verwendung von Verlegepflügen. Durch die seilgezogene Pflugtechnik könnten der Umfang von Bodenaushub und -umlagerung minimiert und die Störungszeit durch schnellen Baufortschritt reduziert werden. Der Einsatz ist im Hochspannungsbereich bereits erprobt. Ob diese Technik auch bei den geplanten Höchstspannungsprojekten mit hoher Übertragungsleistung zum Einsatz kommen kann, ist noch nicht geklärt. Hierfür wäre der Einsatz von schwerem Gerät notwendig, womit entsprechende Auswirkungen auf die Bodenstruktur und dessen Gefüge verbunden sein könnten. Auch können die Bodenschichten nicht wieder schichtengerecht eingebracht werden. Der Einsatz von Verlegepflügen sollte im Rahmen von Pilotprojekten erprobt werden.

### **Gehölze im Schutzstreifen – Möglichkeiten und Risiken**

Aus naturschutzfachlicher Sicht kann es zur Kompensation von Beeinträchtigungen in bisher unzerschnittenen Waldlebensräumen zielführend sein, zumindest punktuell die Entwicklung von Gehölzbereichen innerhalb der Trasse zuzulassen und dauerhaft zu erhalten. Die durch die Schneisen entstehenden visuellen und ökologischen Zerschneidungseffekte könnten so wirkungsvoll gemindert und der Trassenraum wieder aufgewertet werden.

Wie bereits erwähnt, sind bauliche Anlagen und tiefwurzelnde Gehölze (> 1 m Wurzeltiefe) im Schutzstreifen unzulässig. Damit soll die Kabelanlage vor Beschädigungen geschützt und die Zugänglichkeit im Fehlerfall sichergestellt werden. Eine Bestockung der Trasse wäre demnach nur mit niedrigwüchsigen krautartigen Pflanzen oder Gräsern möglich. Diese haben weder feste, verholzende Wurzeln noch stellen sie Hindernisse im Trassenraum dar, die die Zugänglichkeit erschweren.

Inwiefern Gehölzwurzeln tatsächlich mittel- oder unmittelbar Schäden an der Erdkabelanlage verursachen können, wurde bisher nicht empirisch oder experimentell untersucht. Die Bewertung des Schadensrisikos beruht auf Annahmen und Analogieschlüssen. Gleichwohl ist aber auch eine Unbedenklichkeit nicht nachgewiesen. Vermutete Schäden sind insbesondere mechanische Schäden am Kabel durch Wurzeldruck oder Zugkräfte, die von Wurzeln bei Sturmereignissen auf das Kabel einwirken können.

Durch die Beschränkung der Wurzeltiefe auf max. 1 m steht bei den Gehölzen nur eine sehr begrenzte Zahl von Straucharten für eine Bestockung im Schutzstreifen zur Verfügung (vgl. Tabelle). Heimische Waldbaumarten kommen dafür nicht in Frage.

Wurzeltiefe 0-0,5 m	Wurzeltiefe 0,5 – 1,0 m
Roter Hartriegel <i>Cornus sanguinea</i>	Gewöhnliches Pfaffenhütchen <i>Euonymus europaea</i>
Gewöhnlicher Schneeball <i>Viburnum opulus</i>	Gewöhnlicher Liguster <i>Ligustrum vulgare</i>
Faulbaum <i>Rhamnus frangula</i>	Kreuz-/Wegedorn <i>Rhamnus cathartica</i>

Eine Erhöhung der Artenauswahl ist möglich, wenn statt der bisherigen pauschalen Risikoabschätzung nach dem Kriterium der Wurzeltiefe eine differenzierte Risikoabschätzung erfolgt. Denn die Ausbildung des Wurzelsystems ist standortabhängig und kann für eine Art nicht pauschal definiert werden. Gefährdungen für das Kabel gehen zudem primär von Starkwurzeln ( $\varnothing > 5 \text{ cm}$ ) aus, die starke mechanische Zug- und Druckkräfte entfalten. Auch die Gefahr durch Windwurf und die daraus resultierenden Schäden am Kabel sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Durch eine standortbezogene Artenauswahl, die verschiedene Kriterien berücksichtigt, und zusätzliche Maßnahmen wie eine Höhenbeschränkung der Gehölze, selektive Entnahmen oder die Verwendung von Kabelschutzrohren, stünden mehr Arten für die Verwendung im Schutzstreifen zur Verfügung. Hierzu wird noch weiterer Untersuchungs- und Abstimmungsbedarf zwischen Übertragungsnetzbetreibern, Kabelherstellern und der Naturschutzseite gesehen.

In Bezug auf die Zugänglichkeit der Erdkabelanlage ist zu klären, ob die Trasse für Wartungs- und Fehlerfälle tatsächlich an jedem Punkt der Anlage unverzüglich zugänglich sein muss. Gegebenenfalls ist ein Zeitverzug für die Beräumung eines Gehölzbestandes in begründeten Fällen auch hinnehmbar. Ein differenziertes Wartungs- und Fehlerfallkonzept könnte dazu beitragen, dass sich der Spielraum für einen Gehölzaufwuchs erweitern lässt.

### **Optionen eines naturverträglichen Trassenmanagements im Wald**

Um eine naturschutzfachliche Aufwertung der Trassenflächen zu erreichen, sind in der Regel spezifische Maßnahmen der Biotoppflege erforderlich. Hierfür muss ein naturverträgliches Trassenmanagement etabliert werden.

Zu den zentralen Voraussetzungen für die Umsetzung eines solchen Managements gehören – neben der Einigung über die Entwicklungsziele – das Einverständnis des Eigentümers/ Pächters der Trasse und die Finanzierung der Entwicklungs- und Pflegekosten.

Je nach lokalen funktionalen Bezügen und dem Entwicklungspotenzial der Standorte kommen für Erdkabeltrassen in Waldschneisen verschiedene ökologische Entwicklungsziele in Betracht.

Im passenden regionalen Kontext kann auf trockenen und/ oder nährstoffarmen Waldtrassen die Entwicklung von *Offenlandbiotopen* wie Magerrasen oder Zwergstrauchheiden ein Entwicklungsziel sein. Dies kommt in Frage, wenn die Wiederherstellung gleichartiger, waldähnlicher Strukturen naturschutzfachlich nicht höher bewertet wird.

Eine *flächenhafte, gehölzbetonte Bestockung* ist anzustreben, wenn dadurch die Fragmentierung eines wertvollen Waldlebensraums vermieden werden kann oder zu kompensieren ist und/ oder Barrierewirkungen, die den Populationsaustausch von geschützten oder gefährdeten Arten beeinträchtigen, vermieden werden können. Dies kommt eher auf Trassenabschnitten in Frage, in denen der Erhalt eines feucht-kühlen Waldbinnenklimas und die Vermeidung von Zerschneidungseffekten im Fokus stehen. Aufgrund der Sicherheits- und Freihaltungsvorschriften der Netzbetreiber wird eine vollflächige gehölzbetonte Bestockung ggf. nur eingeschränkt bzw. nur mit hohem Aufwand umsetzbar sein.

Auch Teilbestockungen wie *Gehölzriegel quer zur Trasse* bedürfen vorheriger Schutzvorkehrungen für das Kabel. Für die Gehölzriegel (analog zu Grünbrücken bei Autobahnen) muss das Kabel abschnittsweise tiefergelegt werden. Eine Umsetzung ist aber wahrscheinlicher als eine flächenhafte Bestockung, da weniger Fläche betroffen und der Aufwand geringer ist.

*Gehölzvorsprünge*, die vom Trassenrand bis an den Schutzstreifen reichen, mindern die visuelle Wirkung der Schneise, schaffen zusätzliche Deckungsräume für die Fauna und vermindern den Abstand zwischen den Waldbereichen entlang der Trasse. Sie sind ohne Einschränkungen umsetzbar. Durch die Schaffung von halboffenen Korridoren können Lebensräume für Offenland- und Waldarten geschaffen werden.

Besonders wirkungsvoll kann die optische Schneisenwirkung dort reduziert werden, wo die Trasse Straßen oder Wege kreuzt. Da zur Querung von Wegen meist Unterbohrungen vorgenommen werden, gibt es in diesen Bereichen die Möglichkeit, den vorhandenen Waldbestand und somit das gewohnte Waldbild zu erhalten. Zudem wird durch diese *Sichtschutzriegel* auch das Barriererisiko reduziert.

Die *Entwicklung gestufter Waldränder* im Bereich des ehemaligen Arbeitsstreifens ist grundsätzlich ohne Einschränkungen und mit vertretbarem Aufwand möglich. Die Steigerung der Struktur und Schichtung am Waldrand und der Aufbau von Saumstrukturen erhöhen die Artenvielfalt und können Barriere- und Zerschneidungseffekte reduzieren.

Welche der Entwicklungsoptionen im Zuge einer Waldschneise zu bevorzugen ist, muss im Einzelfall abgewogen werden. Die Entwicklung gestufter Waldränder sollte mit ein Grundbaustein des ökologischen Trassenmanagements im Wald werden.

Mit Vereinbarungen zwischen Netzbetreibern, dem Naturschutz und den Forstverwaltungen über eine „gute fachliche Praxis“ der Trassenpflege und ggf. einem Leitfaden hierzu, könnten die noch bestehenden Unsicherheiten zu den Anforderungen und Möglichkeiten eines naturverträglichen Trassenmanagements aufgehoben und den Akteuren eine Orientierungshilfe gegeben werden. Ein solcher Leitfaden könnte auch zur Klärung der Frage beitragen, unter welchen Voraussetzungen ein naturverträgliches Trassenmanagement als Kompensationsmaßnahme angesehen werden kann. Analog zum ÖTM bei Freileitungen gilt es auch für Erdkabeltrassen Konzepte zu entwickeln, in denen Lösungen für die Finanzierung sowie die Umsetzung der Maßnahmen (Trägerschaft und Durchführung der dauerhaften Pflege) entwickelt werden.

## 10 Summary

As part of the energy transition in Germany, extensive upgrading work and extensions to the extra high-voltage (EHV) electricity transmission network are currently being planned and implemented. Here underground cable technology is also being used. According to current legislation, it can be used in three-phase lines within sections of several pilot projects if certain conditions are met. Another application area is for high-voltage direct current (HVDC) transmission as part of offshore connections and selected long-distance HVDC connections (north-south DC corridors).

However, for the nature conservation-based evaluation of the projects as part of the permitting process, there is a lack of aggregated knowledge about the expected project dimensions and the constructional, system and operational impacts of EHV underground cable projects in regards to the needs of nature and landscape conservation. The potential provided by ecological route management for underground cables and the compensation requirements and scope for reducing the inevitable interventions in nature and landscapes are not yet clear.

The aim of the project is to expand the knowledge base for EHV underground cables both as a project type and for the nature-compatible planning and design of EHV underground cable routes. In accordance with the commission, the project is focussing on underground cable routes in forests (forest aisles). The following questions have been addressed:

- Which EHV underground cable projects have been or are currently being implemented or planned in Germany and abroad, and can be used as references for the forthcoming EHV underground cable systems in Germany?
- Which impact factors and effects of EHV underground cable projects are potentially relevant to the planning and permitting, and in particular what role is played by the operational heat emissions?
- Which possibilities for nature-compatible route design exist for underground cable routes and what development goals for the route design can be particularly derived for underground cable routes in forests? When is a design with woody plants preferable from a conservation point of view?
- How do the roots of woody plants behave and what is the likelihood that the roots could damage the underground cables? To what extent can the potential risk of damage be differentiated so that woody plants can be planted in the protective strip?

### **Legal bases for underground cabling**

The projects where (partial) underground cabling is possible are stipulated in the German Power Grid Expansion Act (EnLAG) or are defined in the German Federal Requirement Plan Act (BBPlG). The conditions under which sectional underground cabling can be considered for high-voltage AC (HVAC) transmission are laid down in EnLAG. This is the case, for example, when minimum distances to residential areas and houses are undercut. Part of the transmission line can be cabled underground if an overhead line would infringe the prohibitions laid down by Article 44 para. 1 BNatSchG (German Federal Nature Conservation Act)

and the use of underground cables would provide a reasonable alternative in accordance with Article 45 para. 7 Sentence 2 BNatSchG.

The regulations for the underground cabling of HVDC lines are laid down in BBPIG. According to this, underground cabling should be given priority with almost all HVDC long-distance connections. Overhead line sections should be the exception here.

### Project characteristics of extra high-voltage underground cable systems

The technical design of extra high-voltage underground cable systems depends on numerous factors. The specific technical implementation is determined by the type of power transmission, the transmission task and capacity, the cable technology, construction and operating concepts as well as the resulting safety requirements, site conditions, etc. In determining the scope of underground cable projects, it is therefore only possible to provide broad values. In accordance with the transmission task and capacity, the projects planned and implemented in Germany can be classified as follows:

Classification according to the transmission task	Voltage [kV]	Transmission power [MW]	Cable type / No. of cables (excluding metallic return)	No. of presumed necessary trenches	Protective strip width [m]*
<b>HVDC offshore connections</b>	±250 to ±320	600 to approx. 900 MW	1 or 2 XLPE cables	1	Approx. 5
<b>HVDC interconnector (here: ALEGrO)</b>	±400 to ±525	>1,000	2 MI cables** or 2 XLPE cables	1	Approx. 10
<b>HVDC long-distance DC connections</b>	±525	2,000***	4 MI cables (or 2 XLPE cables****)	1 or 2 1	Approx. 10-15 Approx. 5-7.5
<b>HVAC underground cable sections</b>	±380/ 400	3,600	12 XLPE cables	2	Approx. 22-23

\* Assumptions or maximum values from literature reviews

\*\* MI = mass-impregnated (cable with oil paper insulation)

\*\*\* With HVDC corridor C, two DC connections run for long stretches in parallel (4,000 MW). The system dimensions change accordingly.

\*\*\*\* Application still unsure. Technology is being tested.

In terms of the cable technology there is a trend towards using XLPE cables. Here the conductive copper core is encased with a layer of cross-linked polyethylene. XLPE cables are already standard in the HVAC sector. XLPE cables are currently used for HVDC lines up to 320 kV; cables for higher voltages are being tested. MI cables are currently used for higher voltages. XLPE cables are highly efficient. For the same transmission power, XLPE cables require less space than MI cables.

High-voltage underground cable projects are civil engineering schemes. The construction duration is dependent on the size of the project. The civil engineering work requires the construction of building and storage areas, work strips and access roads. These must be cleared if necessary. Heavy vehicles and machines are used for trenching, cable laying and backfilling, as well as for delivering and removing material.

The cables are usually laid at a depth of 1.5 to 1.7 metres in one or more open trenches, either directly in the ground or in a protective tube made of plastic. The laying depth determines the volume of excavated soil. To prevent the cables from having a thermally adverse effect on each other, the cables need to be spaced at a distance defined in each specific project. The spacing and number of trenches essentially determine the corridor width. The heat dissipation from the cables is supported if required by special ballast. The aim is to dissipate the heat homogeneously from the cables in order to reduce the risk of localised overheating. Whether special ballast is needed and which materials are used (sand, liquid soil, lean concrete) depends on the local soil conditions such as the water balance or thermal conductivity.

Since the delivery length of the cable is limited due to its heavy weight, the individual cable sections are connected with sleeves. The sleeves can also be laid in the ground or housed in fixed cable pits. The cable pits can generally be accessed via manholes.

Obstacles that cannot be bypassed such as roads, rivers or channels are traversed using horizontal directional drilling or pipe ramming. For longer sections, micro-tunnelling methods provide an alternative for trenchless construction.

A protective strip is stipulated to protect the underground cable system from external influences. It encompasses the cable trench plus the mutually adjacent areas. In the evaluated project documents these were between 2.0 and 2.5 metres measured from the cable axis of the outermost cable. According to the safety and clearance provisions of the grid operators, the protective strip must be kept free of structures and deep-rooted woody plants with a root depth > 1 m. Agricultural use is permitted without restrictions in the protective strip.

During operation, the cables emit heat and magnetic fields.

### **Environmental impacts of underground cables**

The implementation of underground cable projects incurs construction-, operational- and system-induced impacts that may be relevant in planning or legal terms.

The construction-induced impacts form the main focus area. Significant impact factors include the site clearing, mechanical impacts on the soil caused by driving over and shifting soil, drainage and water retention, as well as pollution and dust emissions. The impacts primarily relate to the soil and the water balance, but species and habitats are also affected, for example during site clearance. When prevention and mitigation measures are complied with and there is successful reclamation, the construction-induced impacts are mostly temporary.

System-induced impacts can be caused by the permanent clearance of previously wooded sections. This leads to habitat loss and the fragmentation of functional relationships between (forest) habitats. The introduction of impermeable materials can also cause (underground)

sealing, which can impact on the ground (site changes) and the water balance (percolation, groundwater flow).

The operational impacts on the soil and water balance as well as on the ground as a habitat through heat dissipated by the conductors are low according to current knowledge. According to the results of previously conducted field trials, the temperature changes at the soil surface are within the range of natural variability. Soil drying in the rhizosphere is not expected. It is intended to widen the currently narrow empirical basis through ecological monitoring in future projects.

The impacts of magnetic fields on organisms living in or close to the soil have not yet been investigated, so it is not yet possible to draw any conclusions as to the risks involved.

### **Environmental impact of HVAC and HVDC in comparison**

The impact factors and dependences are comparable in HVAC and HVDC projects. However, they differ in their dimensions. For example, HVDC corridors are narrower than HVAC corridors for a comparable transmission power. The construction- and system-induced environmental impacts tend to be correspondingly lower in HVDC lines. HVDC lines also emit less heat during operation. In addition, the magnetic field is static and the magnetic flux density is lower than with HVAC lines.

### **Prevention and mitigation measures**

Construction-induced impacts can be particularly mitigated or prevented by environmental monitoring of the construction activities. The construction monitoring is aimed on the one hand at professionally implementing measures. Another focus is on the implementation of and compliance with measures to protect against irreversible soil damage (e.g. driving bans to protect against soil compaction).

One way to avoid interventions in valuable habitats is closed construction in the form of horizontal directional drilling or micro-tunnelling. These eliminate the need to clear the route as well as the excavation of open trenches with corresponding construction activities. Nevertheless risks (such as blow-outs) with corresponding environmental impacts cannot be excluded even with closed construction. This needs to be considered carefully on an individual basis.

An alternative type of cable installation is the use of pipe-and-cable-laying ploughs. Using the cable-drawn plough technology could minimise the extent of the excavated and shifted soil and reduce the disturbance time as a result of the rapid construction progress. Its use has already been tested in the high-voltage sector. Whether this technique can also be used in the planned extra high-voltage projects with high transmission power is still unclear. This would require the use of heavy equipment, which could have corresponding impacts on the soil structure. The soil layers also cannot be re-layered correctly. The use of pipe-and-cable-laying ploughs shall be tested as part of pilot projects.

### **Woody plants in the protective strip – opportunities and risks**

From a nature conservation perspective, it may help to compensate for impairments in previously unfragmented forest habitats by at least selectively allowing and permanently maintain-

ing the development of woody areas within the corridor. This could effectively mitigate the visual and ecological fragmentation effects caused by the forest aisles and enhance the route space.

As already mentioned, structural installations and deep-rooted woody plants (> 1 m root depth) are not permitted in the protective strip. This is aimed at protecting the cable system against damage and ensuring accessibility in the event of faults. It would therefore only be possible to plant the route with low-growing herbaceous plants or grasses. These have neither solid, woody roots nor do they represent obstacles in the route space that would hinder accessibility.

The extent to which woody roots can actually cause direct or indirect damage to the underground cable system has not yet been investigated empirically or experimentally. The assessment of the risk of damage is based on assumptions and conclusions drawn by means of analogy. Nevertheless, it has also not been proved that they are harmless. Suspected damage that might occur includes, in particular, mechanical damage to the cable caused by root pressure, or tensile forces on the cable caused by roots during storms.

Limiting the root depth to a maximum of 1 metre means that only a very limited number of shrub species are available for planting the protective strips (see Table). Native forest tree species are not suitable for this purpose.

Root depth 0-0.5 m	Root depth 0.5-1.0 m
Dogwood <i>Cornus sanguinea</i>	Common spindle <i>Euonymus europaea</i>
Guelder rose <i>Viburnum opulus</i>	Common privet <i>Ligustrum vulgare</i>
Alder buckthorn <i>Rhamnus frangula</i>	Common buckthorn <i>Rhamnus cathartica</i>

An increase in the choice of species is possible if, instead of the hitherto blanket assessment of risks based on the root depth as the main criterion, a more differentiated risk assessment is carried out. This is because the development of the root system depends on the location and cannot be generally defined for any one species. In addition, cables are primarily endangered by thick roots ( $\varnothing > 5$  cm), which can exert considerable mechanical tensile and compressive forces. The risk of windfall and the resulting damage to the cables are also dependent on various factors. More species could be used in the protective strips if there is a site-based selection of species that takes into account various criteria, and if additional measures are taken such as restricting the height of the woody plants, selectively removing plants and using protective cable tubes. This requires further investigation and consultation between the transmission system operators, cable manufacturers and the conservation side.

With regard to accessing the underground cable system, it needs to be determined whether the route actually needs to be immediately accessible at any point along the system for maintenance and fault handling purposes. If necessary, a delay in clearing woodland would

also be acceptable in justified cases. A differentiated maintenance and fault handling concept could help to increase the scope for woodland growth.

### **Options for nature-compatible route management in forests**

In order to enhance the routes from a nature conservation point of view, specific habitat management measures are usually required. Nature-compatible route management must be established for this purpose.

In addition to agreeing on the development goals, key prerequisites for implementing such a management system include obtaining the consent of the route's owner/tenant and funding for the development and maintenance costs.

Depending on the local functional implications and the development potential of the sites, different ecological development goals come into consideration for underground cable routes in forest aisles.

In an appropriate regional context, the development of **open land habitats** such as dry oligotrophic grassland or dwarf shrub heath could be a development goal on dry and/or nutrient-poor forest routes. This is an option when the restoration of similar, forest-like structures is not deemed to be more important from a nature conservation perspective.

**Extensive, woody plant-based planting** is desirable if this can prevent or compensate for the fragmentation of valuable forest habitat and/or prevent barrier effects impairing the movement of protected populations or endangered species. This is more probable with route segments where the focus is on maintaining a cool, damp climate within the forest and preventing fragmentation effects. The safety and clearance requirements of the grid operators may mean that extensive, woody plant-focussed planting can only be implemented to a limited extent or with considerable outlay.

Partial planting such as **thin thickets of woody planting transverse to the route** also requires prior protection measures for the cable. For the thickets of woody plants (similar to green bridges over motorways), the cable must be lowered in sections. Their implementation is, however, more probable than with extensive planting, since fewer areas are affected and less outlay is required.

**Projections of woody plants** that extend from the route edge to the protective strip mitigate the visual impact of the corridor, create additional coverage areas for fauna and reduce the spacing between the forest areas along the route. They can be implemented without restrictions. The creation of semi-open corridors enables habitats for open grassland and forest species to be created.

The visual impact of the corridors can be reduced particularly effectively where the route crosses roads or paths. Since horizontal directional drilling is usually used to traverse roads, this enables the existing forest cover and thus the familiar forest appearance to be retained in these areas. In addition, these **visual screens** also reduce the risk of creating barriers.

The **development of tiered forest edges** along the former working strip is generally possible without restrictions and at a reasonable cost. Enhancing the structure and layering along

the forest edge and developing border structures increase the biodiversity and can reduce barrier and fragmentation effects.

Which of the development options is preferred along the length of a forest aisle must be considered carefully in each individual case. Developing tiered forest edges should become a basic building block for ecological route management in forests.

Agreements between grid operators, nature conservation authorities and forestry administrations on "good practice" for maintaining routes and, if required, corresponding guidelines would resolve remaining uncertainties about the requirements and possibilities for nature-compatible route management and provide the actors with guidance. Such guidelines could also help to clarify the conditions under which nature-compatible route management can be considered as a compensatory measure. Analogous to ecological route management with overhead lines, it is also important to develop concepts for underground cable lines in which solutions for financing and implementing the measures (responsible bodies and provision of long-term maintenance) are developed.