

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen




Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

**BMU-Studie „Ökologische Auswirkungen von
380-kV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen“**
(Laufzeit: 01.10.2009-31.12.2011)

Bericht der Arbeitsgruppe Umwelt

Karsten Runge, Philipp Meister, Elena Rottgardt

Band 4.2

 Cuvillier Verlag Göttingen



Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (efzn)

Band 4.2





BMU-Studie

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

(03MAP189 Laufzeit: 01.10.2009-31.12.2011)

Band 2

Bericht der Arbeitsgruppe Umwelt

Auftraggeber:

**Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

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

Auftragnehmer:

efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Am Stollen 19A
38640 Goslar

Unterauftragnehmer:



OECOS GmbH
Bellmannstraße 36
22607 Hamburg



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

978-3-95404-024-7

Die vollständige Studie können Sie auch unter folgendem Link einsehen:

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

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

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

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-024-7



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





"Ökologische Auswirkungen von 380-kV- Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen "

Bericht der Arbeitsgruppe "Umwelt "

Bearbeiter: apl. Prof. Dr.-Ing. Karsten Runge

Dr. Ing. Thomas Wachter

Dipl. Geogr. Philipp Meister

Dipl. Geogr. Elena Rottgardt

Der Bericht besteht aus 154 Seiten.

Hamburg, den 31.12.2011

0.1 Tabellenverzeichnis.....	5
0.2 Abkürzungsverzeichnis.....	6
1. Einleitung.....	8
2. Auswirkungen von Erdkabelvarianten auf Mensch, Natur und Umwelt	10
2.1 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)	10
2.1.1 Übersicht	10
2.1.2 Beeinträchtigungen durch magnetische Felder	10
2.1.3 Beeinträchtigungen durch Unfälle	13
2.1.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	13
2.2 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Tiere und Pflanzen.....	15
2.2.1 Übersicht	15
2.2.2 Gefährdungsfaktoren	16
2.2.3 Auswirkungen von Erdkabeln auf bestimmte Artengruppen	18
2.2.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	22
2.3 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Schutzgebiete und Biotope.....	25
2.3.1 Übersicht	25
2.3.2 Schutzgebiete	25
2.3.3 Gefährungskriterien für Biotope	27
2.3.4 Lineare Biotope	28
2.3.5 Gehölzbiotope	29
2.3.6 Feuchtbiotope	31
2.3.7 Ackerbiotope.....	32
2.3.8 Trockenrasen und spezifische Grünlandstandorte	33
2.3.9 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	34
2.4 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf das Schutzgut Boden	34
2.4.1 Übersicht	34
2.4.2 Schutzwürdige Böden	35
2.4.3 Bodenverdichtung	36
2.4.4 Störung des Bodengefüges durch Aushub, Zwischenlagerung und Wiedereinbau.....	38
2.4.5 Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt	39
2.4.6 Einbringung von Fremdstoffen	40
2.4.7 Versiegelung aufgrund von Nebenanlagen	41
2.4.8 Bodenerwärmung im Betrieb	41
2.4.9 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	43
2.5 Auswirkungen von Erdkabeln auf Gewässer.....	45
2.5.1 Auswirkungen von Erdkabel auf das Grundwasser.....	45
2.5.2 Auswirkungen durch Erdkabel auf Oberflächengewässer	46
2.5.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	47
2.6 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf das Orts- und Landschaftsbild	48

2.6.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	48
2.6.2	Auswirkungen durch Anlage und Betrieb	48
2.6.3	Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen.....	50
2.7	Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Kultur- und Sachgüter	51
2.7.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	51
2.7.2	Auswirkungen durch Anlage und Betrieb	51
2.7.3	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	51
2.8	Auswirkungen von Erdkabel auf die Luft und das Klima	52
2.8.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	52
2.8.2	Auswirkungen durch Anlage und Betrieb	52
2.8.3	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	52
2.9	Wechselwirkungen.....	52
2.9.1	Wechselwirkungen durch Bündelung von Vorhaben.....	52
2.9.2	Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen während der Bauphase	53
2.9.3	Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen durch Anlage und Betrieb	53
3	Umweltauswirkungen von Freileitungen.....	55
3.1	Auswirkungen von Freileitungen auf Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch) 55	
3.1.1	Beeinträchtigungen durch elektrische und magnetische Felder	55
3.1.2	Beeinträchtigungen durch Koronaentladungen	59
3.1.3	Beeinträchtigungen durch Unfälle	60
3.1.4	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	60
3.2	Auswirkungen von Freileitungen auf Tiere und Pflanzen.....	61
3.2.1	Gefährdungsfaktoren europäisch geschützter Arten durch Freileitung	61
3.2.2	Zerstörung von Pflanzenbeständen	63
3.2.3	Gefährdung der Avifauna	63
3.2.4	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	78
3.3	Auswirkungen von Freileitungen auf Schutzgebiete und Biotope	82
3.3.1	Übersicht.....	82
3.3.2	Streng geschützte Gebiete	83
3.3.3	Schwächer geschützte Gebiete	84
3.3.4	Gehölzbiotope, Feldgehölze und lineare Gehölzbiotope.....	84
3.3.5	Feuchtgebietsbiotope, Acker- und Grünlandbiotope.....	85
3.3.6	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	86
3.4	Auswirkungen von Freileitungen auf den Boden.....	87
3.4.1	Übersicht.....	87
3.4.2	Funktionsverlust, Versiegelung, Austrocknung und Verdichtung	87
3.4.3	Bodeneintrag.....	88
3.4.4	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	88
3.5	Auswirkungen von Freileitungen auf Gewässer	89

3.5.1	Auswirkungen von Freileitungen auf Grundwasser	89
3.5.2	Auswirkungen von Freileitungen auf Oberflächengewässer.....	91
3.5.3	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	91
3.6	Auswirkungen von Freileitungen auf das Orts- und Landschaftsbild	91
3.6.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	91
3.6.2	Auswirkungen durch Anlage und Betrieb	92
3.6.4	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	99
3.7	Auswirkungen von Freileitungen auf Kultur- und Sachgüter	100
3.7.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	100
3.7.2	Auswirkungen durch Anlage und Betrieb	100
3.7.3	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	100
3.8	Auswirkungen von Freileitungen auf die Luft und das Klima	100
3.8.1	Auswirkungen während der Bauphase.....	100
3.8.2	Auswirkungen während Anlage und Betrieb	101
3.8.3	Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	101
3.9	Wechselwirkungen.....	101
3.9.1	Wechselwirkungen durch Bündelung von Vorhaben.....	101
3.9.2	Bündelung und Wechselwirkungen während der Bauphase	102
3.9.3	Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen durch Anlage und Betrieb	102
4	Synoptische Bewertung der Umweltbelange	104
5	Exemplarische Darstellungen	115
6	Empfehlungen für den Netzausbau aus Umweltsicht	116
7	Zusammenfassung	118
8	Literaturverzeichnis.....	122
Anhang 1: Gesetzliche Grenzwerte sowie staatliche Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern; nachrichtliche Übernahme aus: Neitzke, H.P., Osterhoff, J. (ECOLOG) 2010.		
		135
Anhang 2: Modelltrassenabschnitte für exemplarische Darstellungen.....		
		142
Anhang 3: Besonders geschützte Arten Übersichten zum Vorkommen von nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbau Schwerpunkten		
		146
Anhang 4: Landschaftsbildbewertung für Freileitungstrassen nach Nohl, Paul und Weigel		
		149
	Landschaftsbildanalyse bei mastenartigen Eingriffen nach Nohl.....	149
	Weiterentwicklung der Nohlschen Landschaftsbildanalyse durch Paul et al.	152
	Weiterentwicklung der Nohlschen Landschaftsbildanalyse durch Weigel	153

0.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausschnitt aus Grenzwerttabelle der ECOLOG-Studie (NEITZKE U. OSTERHOFF 2010).....	14
Tabelle 2: Gefährdung europäisch geschützter Arten durch Erdkabel (eigene Darstellung)	18
Tabelle 3: Bewertungsrahmen zur Klassifikation des Konfliktpotenzials von Biotoptypen gegenüber den baubedingten Auswirkungen von Erdkabeln (Eigene Darstellung nach BfN 2006).....	28
Tabelle 4: Lineare Biotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)	29
Tabelle 5: Gehölzbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)	30
Tabelle 6: Feuchtbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)	31
Tabelle 7: Ackerbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)	32
Tabelle 8: Trockenrasen- und Grünlandbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)	33
Tabelle 9: Verdichtungsempfindliche schutzwürdige Böden (Nach LBEG 2008 u. BUNDESVERBAND BODEN 2003).	37
Tabelle 10: Entwässerungsempfindliche schutzwürdige Böden (nach LBEG 2008 u. BUNDESVERBAND BODEN 2003).	40
Tabelle 11: Durchlässigkeitsbeiwerte wassergesättigter Böden (Aus GEO et al. 2009 S. 91 u. Ad Hoc Arbeitsgruppe Boden 1994)	46
Tabelle 12: Gefährdung europäisch geschützter Arten durch Freileitung (eigene Darstellung).....	61
Tabelle 13: Kollisionsopfer an Höchstspannungsleitungen (380 – 400 kV)	72
Tabelle 14: Sehr hohe Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen.	77
Tabelle 15. Hohe Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen. 78	
Tabelle 16: Erhöhte Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen.	78
Tabelle 17: Bewertung der Empfindlichkeit des Grundwassers (nach IBU 2007, S. 191) ...	90

0.2 Abkürzungsverzeichnis

µT	Mikro Tesla
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BauGB	Baugesetzbuch
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BP	Brutpaar
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
CIGRE	Conseil International des Grands Reseaux Électriques; Gremium für den Informationsaustausch für Hochspannungstechnik
EK	Erdkabel
ELF	niederfrequent (extremely low frequency)
EMF	Elektrische und magnetische Felder
EnLAG	Energieleitungsausbaugesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EOK	Erdoberkante
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FFH-Gebiet	Europäisches Schutzgebiet gem. FFH-RL
FFH-RL	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie der EU
FL	Freileitung
GEO	Gesellschaft für Energie u. Ökologie mbH
GFK	Glasfaserkunststoff
GIL	Gasisolierte Leitungen
HDD	Horizontal-Bohrverfahren
HDPE	High-density polyethylene
HVDC	High-Voltage Direct Current (Hochspannungs-Gleichstromtechnik)
Hz	Hertz
i. Allg.	im Allgemeinen
IBA	Important Bird Area
ICNIRP	International Commission for Non-Ionising Radiation Protection
KKW	Kernkraftwerk
KÜA	Kabelübergangsanlagen
LANA	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan
LEP	Landesentwicklungsplan
LROP	Landesraumordnungsprogramm
LSG	Landschaftsschutzgebiet
Nds. GVBl.	Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt
NLT	Niedersächsischer Landkreistag
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NNatG	Niedersächsisches Naturschutzgesetz
NSG	Naturschutzgebiet

NSG	Naturschutzgebiet
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PVC	Polyvinylchlorid
Ramsar	Feuchtgebiete gemäß Ramsarkonvention
ROG	Raumordnungsgesetz
ROV	Raumordnungsverfahren
SSK	Strahlenschutzkommission
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UW	Umspannwerk
VRL	Vogelschutzrichtlinie der EU
VSch- Gebiet	Europäisches Schutzgebiet gem. VRL
VwVfG	Verwaltungsverfahrensgesetz
WEA	Windenergieanlage
WHO	World Health Organisaon
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1. Einleitung

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

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

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

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

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

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

2. Auswirkungen von Erdkabelvarianten auf Mensch, Natur und Umwelt

2.1 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)

2.1.1 Übersicht

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

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

2.1.2 Beeinträchtigungen durch magnetische Felder

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1.3 Beeinträchtigungen durch Unfälle

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

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

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

2.1.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

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

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

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

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

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

2.2 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Tiere und Pflanzen

2.2.1 Übersicht

Pflanzen und Tiere können auf unterschiedliche Weise beeinträchtigt werden, bei Erdkabeltrassen v.a. durch die aufwändigen Tiefbauarbeiten. Die rechtlichen Anforderungen enthalten dazu unterschiedlich strenge Maßstäbe. Viele Beeinträchtigungen der gefährdeten und geschützten Tiere und Pflanzen werden bspw. nach § 30 BNatSchG auf der Basis des Biotopschutzes untersagt (vgl. Abschn. 2.3). Ein weiteres Schutzregime für Tiere und Pflanzen, unabhängig vom Regime des Gebietsschutzes, schreibt der spezielle Artenschutz nach §§ 44, 45 BNatSchG vor, der sich auf Tier- und Pflanzenarten nach Anhang IV der FFH-Richtlinie sowie auf europäische Vogelarten bezieht. Um die Arten nach Anhang IV der FFH-Richtlinie sowie die europäischen Vogelarten gemeinsam zu benennen, wird im Folgenden auch der Begriff „europäisch geschützte Arten“ verwendet (im Anhang 3 zu diesem Text wurden von uns Tabellen der Anhang IV-Arten zusammengestellt, die in den besonders netzausbaurelevanten Bundesländern vorkommen). Gemäß § 44 Abs. 1 BNatSchG ist generell zu unterlassen:

1. wildlebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen, zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
2. wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderzeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,
3. Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
4. wild lebende Pflanzen der besonders geschützten Arten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören.

Wenn die o.g. Beeinträchtigungen nicht vermeidbar sind, dann können gem. § 45 BNatSchG Ausnahmen zugelassen werden, wenn u.a. zumutbare Alternativen nicht gegeben sind und sich der Erhaltungszustand der jeweiligen Tier- oder Pflanzenpopulation nicht verschlechtert. Der "Erhaltungszustand der Population", d.h. nicht der des Einzelindividuums, ist gem. § 45 BNatSchG ausschlaggebend für die Beurteilung der bei großen Bauvorhaben oft unvermeidlichen einzelnen Tötungen oder Störungen von Tieren und Pflanzen (LANA 2010, S. 16; FEHRENSSEN 2009, S. 17). Die für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Behörden können im Einzelfall wei-

tere Ausnahmen zulassen, z.B. wenn zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses dieses gebieten. Zwingende Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses liegen vor, wenn durch öffentliche oder private Vorhaben grundsätzlich dem Wohl der Allgemeinheit gedient wird (LANA 2010, GELLERMANN 2009).

Ein artenschutzrechtliches Ausnahmeverfahren kann vermieden werden, wenn bestimmte Sonderregelungen zutreffen bzw. angewendet werden können (§ 44 Abs. 5 BNatSchG). So werden bei Arten nach Anhang IV der FFH-Richtlinie (Richtlinie 92/43/EWG) sowie bei europäischen Vogelarten Tötungs- und Verletzungsverbote (Nr. 1) oder Verbote zur Zerstörung oder Beschädigung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten (Nr. 3) nicht gewertet, soweit die ökologische Funktion im räumlichen Zusammenhang der von dem Eingriff oder Vorhaben betroffenen Fortpflanzungs- oder Ruhestätten durch geeignete und in ausreichendem Umfang vorhandene Habitatflächen weiterhin erfüllt wird. Zur Gewährleistung dieser Funktion können auch "vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen" bzw. „funktionserhaltende Maßnahmen“ durchgeführt werden (Europäische Kommission 2007, Nr. 73).

Die artenschutzrechtlichen Regelungen weisen eine hohe Verfahrensrelevanz auf, da sie nicht der Abwägung unterliegen und LANA (2010) zufolge striktes Recht markieren. Ggf. erforderliche Abweichungsverfahren führen zwangsläufig auch zur Erwägung alternativer Trassenvarianten.

2.2.2 Gefährdungsfaktoren

Bei Erdkabeln können vor allem in der Bauphase Tier- und Pflanzenarten gefährdet werden, da die Kabelverlegung umfangreiche Bodenbewegungen erfordert. In der Betriebsphase steht der Trassenbereich erneut als Standort für flachwurzelnende Pflanzen oder als Habitat für Tierarten zur Verfügung. Eine mögliche Wärmeeinwirkung auf Boden u. Vegetation sowie eine ggf. erforderliche Trassenfreihaltung sind die Hauptfaktoren, die auf geschützte Arten im Betrieb einer Kabeltrasse einwirken können.

Zu den artenschutzrechtlich relevanten Hauptgefährdungsfaktoren während der umfangreichen Bauarbeiten zählen die unbeabsichtigte Tötung und Verletzung von Tieren und Pflanzen, Störung von wildlebenden Tieren in empfindlichen Lebensphasen sowie die Vernichtung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten.

Die unvermeidbare betriebsbedingte Tötung einzelner Individuen (z. B. Tierkollisionen nach Inbetriebnahme einer Straße) fällt in der Regel nicht unter die Verbote gem. § 44 Abs. 1 BNatSchG. Nach der Rechtsprechung (vgl. BVerwG Urteil v. 12.3.2008 A 3.06; 9.7.2008, Az. 9 A 14/07) muss sich durch ein Vorhaben das Risiko des Erfolgseintritts (Tötung besonders geschützter Tiere) in signifikanter Weise erhöhen, damit ein Verbot greift (LANA 2010). Ebenso wenig greift der spezielle Artenschutz, wenn trotz Vorsorgemaßnahmen die Tötung einzelner Tiere nicht ausgeschlossen werden

kann, aber die für die Art zentralen Habitate erhalten bleiben (OVG Münster, Urteil vom 19.3.2008, ANDRIAN-WERBURG et al. 2009).

Damit die europäisch geschützte Arten insbesondere während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderzeiten nicht erheblich gestört werden, ist darauf zu achten, dass in den entsprechenden Zeiten Beunruhigungen und Scheuchwirkungen z.B. infolge von Bewegung, Lärm oder Licht, sowie Zerschneidungswirkungen und Lichtemissionen minimiert werden (LANA 2010, S. 5). Eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich dadurch der „Erhaltungszustand der lokalen Population“ verschlechtert. Dies ist der Fall, wenn sich die Störung auf die Überlebenschancen, die Reproduktionsfähigkeit und den Fortpflanzungserfolg der lokalen Population auswirkt (LANA 2010, S. 5). Alle Orte im Gesamtlebensraum einer Tierart, die im Verlauf des Fortpflanzungsgeschehens benötigt werden, sind als Fortpflanzungsstätte geschützt. Dies sind z.B. Balzplätze, Paarungsgebiete, Neststandorte, Brutplätze oder -kolonien, Wurfbaue oder -plätze, Eiablage-, Verpuppungs- und Schlupfplätze oder Areale, die von den Larven oder Jungen genutzt werden (LANA 2010, S. 8). Regelmäßig genutzte Fortpflanzungs- oder Ruhestätten unterliegen auch dann dem Artenschutzregime, wenn sie gerade nicht besetzt sind (Europäische Kommission 2007, Nr. 54). Andererseits ist die Zerstörung einer Fortpflanzungs- oder Ruhestätte nicht standorttreuer Tierarten, die ihre Lebensstätten regelmäßig wechseln und nicht erneut nutzen, außerhalb der Nutzungszeiten kein Verstoß gegen den speziellen Artenschutz.

Geschützte Ruhestätten umfassen alle Orte, die von Tieren regelmäßig zum Ruhen oder Schlafen aufgesucht werden oder an die es sich zu Zeiten längerer Inaktivität zurückzieht. Als Ruhestätten gelten z.B. Schlaf-, Mauser- und Rastplätze, Sonnplätze, Schlafbaue oder -nester, Verstecke und Schutzbauten sowie Sommer- und Winterquartiere. Nahrungs- und Jagdbereiche sowie Flugrouten und Wanderkorridore unterliegen als solche nicht dem Verbot des § 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG (ebd.).

In der Tabelle 2 werden Gefährdungen europäisch geschützter Arten durch Erdkabelprojekte eingeschätzt. Die dabei weit verbreiteten Artengruppen werden in den folgenden Abschnitten gesondert vorgestellt. Eine Reihe von Leitfäden und Handbüchern zum speziellen Artenschutz des BfN und der entsprechenden Landesämter spezifizieren die in diesen Abschnitten nur kursorisch aufgeführten Hinweise (z.B. GEISLER 2007; NLWKN 2009; ROLL et al. 2007 LÜTTMANN 2007, TRAUTNER 2008). Erwähnenswert sind u.a. der Leitfaden der Europäischen Kommission (Europäische Kommission 2007) und die Auslegungshinweise der Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA 2010).

Tabelle 2: Gefährdung europäisch geschützter Arten durch Erdkabel (eigene Darstellung)

Vorhaben	Wirkbereiche	Farne	Samenpflanzen	Weichtiere	Libellen	Käfer	Schmetterlinge	Rundmäuler und Fische	Lurche	Kriechtiere	Fledermäuse	Gesch. Säugtiere	Rast- und Brutvögel
Bauphase	1 Tötung			x	-	x	-	-	-	-	x	-	-
	2 Störung			-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
	3 Fortpflanz.			-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
	4 Zerstörung	x	x										
Anlage/Betrieb	1 Tötung												
	2 Störung										-	-	-
	3 Fortpflanz.										-	-	-
	4 Zerstörung	-	-										

Legende: leer = kein Risiko; - = Risiko; x = erhöhtes Risiko

2.2.3 Auswirkungen von Erdkabeln auf bestimmte Artengruppen

2.2.3.1 Geschützte Pflanzen

Grundsätzlich ist mit potenziellen Vorkommen geschützter Pflanzenarten im Trassenbereich zu rechnen. Gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 4 BNatSchG ist es verboten, wild lebende Pflanzen der besonders geschützten Arten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören. Nach § 19 BNatSchG sind Eingriffe für den Fall, dass keine europäisch geschützten Arten betroffen sind, jedoch zugelassen.

Kälteliebende Pflanzenarten, die bevorzugt an Nordhängen und Senken siedeln, werden, soweit vom direkten Verlauf einer Erdkabeltrasse betroffen, hinsichtlich ihrer Wärmetoleranz zu beurteilen sein. Wenn seltene Ausnahmesituationen mit über lange Zeit andauernder, deutlich erhöhter Wärmeemission und phänologisch empfindlichen Entwicklungsphasen, z.B. Frühjahrsaubtrieb, auf schlecht ableitenden Böden zusammentreffen, können Beeinträchtigungen, bspw. durch Spätfrost, nicht ausgeschlossen werden (vgl. Uther et. al. 2009).

2.2.3.2 Weichtiere, Libellen, Käfer und Schmetterlinge

Weichtiere, Libellen, Käfer und Schmetterlinge können im Zuge der Bauphase grundsätzlich durch allgemeine Bautätigkeit, die Entfernung von Bäumen und Sträuchern, die Anlage von Schutzstreifen sowie die Emission von Lärm, Licht und Erschütterungen beeinträchtigt werden.

Da Weichtiere und Insekten im Vergleich zu anderen Tieren sehr geringe bis keine Fluchtdistanzen aufweisen, werden die potentiellen Beeinträchtigungen von lokalen Insektenpopulationen durch den Baubetrieb i. Allg. selbst im Hinblick auf ihren Erhaltungszustand als vernachlässigbar eingestuft. Andererseits haben diese Tiere kleinräumige Aktionsradien und bewohnen eng beieinander liegende Teillebensräume. Mit der Beschädigung von Habitaten können daher gleichzeitig auch Tierverluste bzw. Verluste von Fortpflanzungsstadien einher gehen. IBNI (2008a S. 55) berichtet bspw. vom Vorkommen eines Altholz bewohnenden Käfers, des Großen Eichenbocks, in bestimmten Trassenabschnitten. Die Entfernung entsprechend besetzter Bäume kann mitunter zu Auswirkungen auf der Populationsebene führen. *"Aufgrund des geringen Ausbreitungspotenzials Altholz bewohnender Käfer können mehrere Generationen auf ein und demselben Baum angetroffen werden. In Abhängigkeit der Entfernung zu den nächsten als Lebensraum geeigneten Baumstandorten kann dies dazu führen, dass ein Baum eine gesamte Metapopulation beherbergt. Die Entfernung eines als Wohnstätte genutzten Baumes kann somit zur Extinktion der lokalen Käferpopulation führen"* (IBNI 2008a S. 55).

2.2.3.3 Amphibien und Reptilien

Aufgrund der umfangreichen Tiefbauarbeiten besteht bei Erdkabelvorhaben insbesondere für geschützte Landtiere mit geringer Mobilität eine besondere Gefährdung, da sie durch die Bauarbeiten gestört, verletzt, getötet oder ihre Wanderwege, Aufenthalts- und Fortpflanzungsstätten beschädigt oder vernichtet werden können. Dies trifft gleichermaßen auch für Lurche (Amphibien) und Kriechtiere (Reptilien) zu. Im Einzelnen kann während der Bauarbeiten die Baufeldfreimachung durch visuelle Störungen, Lärmemissionen, Erschütterungen und der Entfernung von Vegetation zu Beeinträchtigungen führen.

Amphibien beanspruchen in Abhängigkeit des Jahreszyklus sowohl aquatische als auch terrestrische Lebensräume. Daher sind auch terrestrisch in der Bauphase entlang der gesamten Kabeltrasse und an den Baustellenzufahrten Tierverluste auf den Wanderkorridoren sowie in den Sommer- und Winterlebensräumen möglich.

2.2.3.4 Fledermäuse

Fledermäuse können durch unterschiedliche Projektwirkungen im Zuge der Bauphase beeinträchtigt werden. Hierzu gehören neben der Bautätigkeit selbst die Entfernung von Bäumen und Sträuchern, die von den Fledermäusen als Unterschlupf dienen, die Anlage von Schutzstreifen sowie die Emission von Lärm, Licht und Erschütterungen.

Quartierstandorte und potenzielle Wochenstuben bzw. Winterquartiere für baumbewohnende Arten befinden sich insbesondere in älteren Bäumen, die artgerechte Aushöhlungen und Spalten aufweisen. Die Entfernung von Quartierstandorten ist

dauerhaft, soweit nicht im Zuge vorgezogener Kompensationsmaßnahmen gegengesteuert werden kann. Negative Auswirkungen auf den Erhaltungszustand lokaler und regionaler Populationen können nicht ausgeschlossen werden.

2.2.3.5 Geschützte Landsäugetiere

Landsäugetiere können durch unterschiedliche Projektwirkungen im Zuge der Bauphase beeinträchtigt werden. Hierzu gehören neben der Bautätigkeit selbst die Entfernung von Bäumen und Sträuchern, die Anlage von Schutzstreifen sowie die Emission von Lärm, Licht und Erschütterungen.

2.2.3.6 Avifauna

Vögel sind hochmobile Tiere, die in der Regel mit einem guten Seh- und Hörvermögen ausgestattet sind und eine artspezifische Fluchtdistanz gegenüber Störquellen einhalten. Während der Bauphase treten durch anthropogene Präsenz und den Einsatz von Baufahrzeugen- und -maschinen optische Reize, Schall, und ggf. mechanische Beanspruchung als Wirkfaktoren auf.

Aufgrund des Fluchtinstinktes der Vögel sind bei Rast- und Zugvögeln sowie bei adulten Brutvögeln folglich keine Verluste von Individuen durch Bautätigkeiten zu erwarten, zudem bei den Baumaschinen und Transportfahrzeugen relativ niedrige Fortbewegungsgeschwindigkeiten sowohl im Baustellenbereich als auch in den Baustellenzufahrten anzunehmen sind.

Im Zuge der Baufeldfreimachung ist zur entsprechenden Jahreszeit jedoch mit Verlusten von Entwicklungsformen (Eier und Jungvögel) zu rechnen. In Abhängigkeit der artspezifischen Empfindlichkeitsprofile können regionale Auswirkungen auf den Erhaltungszustand bestimmter Arten nicht ausgeschlossen werden (IBNI 2008a S. 33).

Durch Lärm, Erschütterungen und optische Reize kann es jedoch zu Störungen von Vögeln kommen. Die Auswirkungen können generell von der temporären Meidung des entsprechenden Gebietes bis hin zur dauerhaften Aufgabe von bspw. Brutplätzen reichen (vgl. FADE 1994, GARNIEL et al. 2007). Entscheidend für das Ausmaß der Beeinträchtigungen sind die artspezifische Empfindlichkeit der betroffenen Arten, die Intensität und Dauer der Störungen sowie die Jahreszeit, in der diese stattfinden. Bei störungssensiblen Arten ist mit signifikanten Veränderungen des Raumnutzungsverhaltens zu rechnen. So können potenziell geeignete Brutstandorte im Zuge von vorhabensbedingten Scheuch- und Vergrämungswirkungen von empfindlichen Arten während der Bauzeiten gemieden werden. Bauzeitliche Funktionsverluste in Brutvogellebensräumen sind somit möglich. Während der Reproduktionsphase kann die optische und akustische Beeinträchtigung des Weiteren zum Verlassen des Geleges bzw. zur Unterversorgung der Jungen führen, was sich negativ auf den Reproduktionserfolg betroffener Vogelpopulationen auswirken kann (IBNI 2008a S. 39/40).

In der Betriebsphase kann es über Veränderungen von Biotopen zu Veränderungen des Nahrungs-, Nist- und Schlafplatzangebotes für Vögel kommen. Verschiedene Vogellebensräume sind dabei in unterschiedlichem Ausmaß betroffen.

Brutvogelhabitate der offenen Kulturlandschaft (Ackerschläge, Intensivgrünland) sind aufgrund der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ohnehin einem regelmäßigen Wandel ausgesetzt (Ackerumbruch, Ansaat und Wechsel von Feldfrüchten, Beweidung, Mahd). Die Lebensraumverluste auf Ackerflächen sind insofern marginal, als aufgrund der hohen Regenerierbarkeit der Ackerwildkrautflora sowie aufgrund der durch regelmäßige Bewirtschaftung begründeten jährlichen Veränderung des Bodengefüges eine rasche Wiederherstellung der Lebensraumfunktionen zu erwarten ist. Auf Grünlandflächen ist davon auszugehen, dass je nach Intensivierungsgrad und Entwicklungspotenzial die Beeinträchtigungen der Brutvogellebensräume durch Entfernung der Vegetation und Bodenveränderung maximal zwei bis drei Vegetationsperioden anhalten. Spätestens nach diesem Zeitraum sind die ursprünglichen Lebensraumstrukturen wieder hergestellt (IBNI 2008a S. 35).

In Lebensräumen von Waldvögeln sind während der Betriebsphase unter Umständen Beeinträchtigungen zu erwarten. Waldschneisen, die in einem engeren Bereich (bis ca. 100 m) um Horste von störepfindlichen Großvogelarten wie See-, und Schreiadler, Wanderfalke, Schwarzstorch, Kranich und Uhus angelegt werden, können auf dem Wege von Veränderungen des Gebietscharakters zur Aufgabe des Brutstandortes führen (LAND BANDENBURG 1997, NLWKN 2010b, RYSLAVY & PUTZE 2000).

Andere Vogelarten können auf unterschiedliche Weise von Waldschneisen profitieren. Oft ist im Bereich der Schneisen eine Zunahme der Kleinsäugerarten und -abundanzen und somit eine Verbesserung des Nahrungsangebotes für bspw. Greifvögel und Eulen zu beobachten (ABERLE & PARTL 2005, vgl. NLWKN 2010c, NLWKN 2010d, GLUTZ VON BLOTZHEIM 1994). Schneisen können als künstliche Lichtungen in dichten Wäldern die Funktion als Lebensraum für Ameisen einnehmen, die Bestandteil der Nahrung von waldbewohnenden Arten wie bspw. des Schwarzspechts sind (NLWKN 2010e).

Innerhalb von geschlossenen Waldbereichen besiedeln manche Arten v. a. die lichten Übergangsbereiche zu Schneisen, wie bspw. der Trauerschnäpper (LFUG & FÖA 1997). Hinsichtlich des Vogelartenspektrums ist eine Verschiebung hin zu Arten der Waldränder und Hecken wie bspw. Goldammer, Baumpieper, Neuntöter und Wendehals möglich (GEO et al. 2009). Insgesamt können Waldschneisen somit zur Lebensraum- und Artenvielfalt beitragen (vgl. Absch. 2.3).

Betriebsbedingte Störwirkungen durch Wartungs- und Kontrollarbeiten treten nur sporadisch im Jahresverlauf auf. Sie werden als nicht geeignet erachtet, das Brutgeschehen im Untersuchungsraum signifikant zu beeinträchtigen (IBNI 2008a S. 39/40).

2.2.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

2.2.4.1 Übersicht

Grundsätzlich können auch bei europäisch geschützter Arten die klassischen Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen und insbesondere auch die der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung dazu dienen, Beeinträchtigungen abzumildern. Durch eine optimierte Trassenführung lassen sich schon frühzeitig Beeinträchtigungen vermeiden. Bauzeitbeschränkungen auf Jahreszeiten mit einer geringen Aktivität der geschützten Arten können darüber hinaus das Verletzungs- und Tötungsrisiko signifikant reduzieren. Daneben führt das Artenschutzrecht noch spezielle Regelungen für eine Vermeidung und Minderung ein. So können ggf. "vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen zur Sicherung der ökologischen Funktion im räumlichen Zusammenhang" (§ 44 Abs. 5 BNatSchG) durchgeführt werden. Sie zielen auf eine aktive Verbesserung oder Erweiterung einer Fortpflanzungs- oder Ruhestätte ab und sind insofern von den klassischen Vermeidungsmaßnahmen, die lediglich die Schonung der Fortpflanzungs- und Ruhestätte im Blick haben, zu unterscheiden (ANDRIAN-WERBURG et al. 2009, S. 34).

Falls vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen vor Baubeginn durchgeführt werden, können ausnahmsweise auch großräumige Kompensationsmaßnahmen im Zuge der Eingriffsregelung dazu führen, den Erhaltungszustand einer lokalen Population zu wahren. Eine vorhabensbedingte Störung von Individuen einer Art ist dann nicht als erheblich im Sinne des § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG anzusehen (BVerwG, Urteil v. 12.3.2008, Rdnr. 259; dazu kritisch GELLERMANN 2009, S. 12).

Als eine geeignete vorgezogene Ausgleichsmaßnahme ist beispielsweise die qualitative und quantitative Verbesserung bestehender Lebensstätten oder die Anlage neuer Lebensstätten in räumlichem Zusammenhang zur betroffenen Lebensstätte zu werten. Die funktionserhaltenden Maßnahmen müssen bereits zum Eingriffszeitpunkt wirksam sein. Die Sonderregelung greift vor allem bei Arten mit kleinräumlichen Ansprüchen und/oder bei Arten, die ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten regelmäßig wechseln und nicht erneut nutzen (LANA 2010, S. 10f.).

Weiterhin können standortspezifische Maßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustands - bspw. die Anlage einer neuen Lebensstätte - dazu dienen, eine artenschutzrechtliche Ausnahme zu begründen und eine Verschlechterung des Erhaltungszustands der Population der betroffenen Art zu vermeiden. Die Festlegung solcher Maßnahmen ist in jedem Fall verpflichtend, wenn der günstige Erhaltungszustand einer betroffenen Population nicht ohne (zusätzliche) Maßnahmen gewährleistet ist. Im Gegensatz zu den vorgezogenen Ausgleichsmaßnahmen kann bei den Erhaltungsmaßnahmen der Bezug von Maßnahme zum Eingriffsort weiträumig gelockert sein. Eine direkte funktionale Verbindung zur betroffenen Lebensstätte ist nicht erforderlich (ADRIAN-WERBURG et al. 2009, S. 36, LANA 2010, S. 17f.).

2.2.4.2 Amphibien und Reptilien

Tierverluste an Wanderungswegen lassen sich durch Amphibienleiteinrichtungen erheblich reduzieren. Diese Maßnahmen dienen dazu, die Tiere vom Kabelgraben sowie von den Baustellenzufahrten fortzuleiten. Zur Hauptwanderzeit der Amphibien im Frühjahr sind in entsprechenden Schwerpunkträumen zusätzlich im Abstand von 20 bis 30 m Fanggefäße empfehlenswert, aus denen die Tiere regelmäßig umgesetzt sind (vgl. IBNI 2008a, S. 49 ff.). Beeinträchtigungen im Raumnutzungsverhalten durch die Amphibienleiteinrichtungen sind bei regelmäßiger Wartung nicht artenschutzrelevant.

Gewässer und Feuchtbereiche dienen Amphibien als Fortpflanzungsstätten. Im Gewässerbereich ist insbesondere der Amphibienlaich gefährdet. Bei offenen Gewässerquerungen für Erdkabeltrassen ist daher darauf zu achten, dass die beeinträchtigten Bereiche schmal gehalten werden und es zu keiner wesentlichen qualitativen Veränderung von Gewässern oder zu einer Verminderung des Wasserstands kommt. Falls eine Trasse durch Feuchtgebiete verlegt wird, sind Maßnahmen zur Sicherung des Wasserstands in den ggf. benachbarten Oberflächengewässern zu ergreifen. Laut IBNI (2008a, S. 49 ff.) können eventuelle bauzeitliche Einbußen des Reproduktionserfolgs bei Amphibien aufgrund des hohen Reproduktionspotenzials bereits in der darauffolgenden Laichperiode wieder kompensiert werden.

Für Reptilien gelten sowohl hinsichtlich der Bedrohungen als auch hinsichtlich der Vermeidung von Tierverlusten im Zuge bauzeitlicher Zerschneidungswirkungen weitgehend analog die zu den für Amphibien gemachten Ausführungen. Als Kaltblüter sind Reptilien auf sonnige Lebensräume angewiesen, die ihnen Unterschlupf und Möglichkeiten der Eiablage gewähren. Im Rahmen der Trassenplanung ist deshalb darauf zu achten, dass entsprechende Standorte gemieden werden. Verbreitungsangaben und artspezifische Angaben zum Lebensraum finden sich in den Informationssystemen der Länder.

Zur Sicherung der ökologischen Funktion von Fortpflanzungs- oder Ruhestätten bei Amphibien und Reptilien führt der Hessische Leitfaden zum Artenschutz mehrere Beispiele an, die auch für den Bau von Erdkabeltrassen relevant sind. Hierzu gehören u.a. (ADRIAN-WERBURG 2009, S. 35) die vorgezogene Schaffung von Flutmulden als Ausweichlaichgewässer, die vorgezogene Schaffung von neuen Sonnenplätzen für Reptilien und die vorgezogene Errichtung von Trockensteinmauern.

2.2.4.3 Fledermäuse

Vor der Baufeldfreimachung bedarf es einer Untersuchung des zu entfernenden Waldbestandes auf Fledermausvorkommen (IBNI et al. 2008, S. 187). Waldtrassen sind vor der Baufeldfreimachung auf das Vorhandensein potenzieller Höhlenbäume zu überprüfen. Verluste von Tieren lassen sich ggf. durch fachgerechte Umsiedlungsmaßnahmen vermeiden.

Da die Bauarbeiten i. Allg. tagsüber durchgeführt werden, werden die nachtaktiven Fledermausarten in ihren Ruhezeiten störungssensibel. Durch Bauzeitenregelungen können erhebliche Störungen europäisch geschützter Fledermausarten v.a. in Wochenstubenzeiten und Winterruhe vermieden werden (vgl. OVG Münster, Urteil hinsichtlich einer 380-kV-Hochspannungsfreileitung vom 19.3.2008, Az. 11 B 289/08.AK).

2.2.4.4 Geschützte Landsäugetiere

Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen für geschützte Landsäugetiere können artenspezifisch sehr unterschiedlich ausfallen. In den in Frage kommenden Gebieten kann durch eine vorherige Trassenbegehung und ggf. Umsiedlung von Tieren vermieden werden, dass im Zuge der Bauaufreimung aktuell genutzte Bauten von Landsäugetieren mit den sich darin befindlichen Tieren, insbesondere Jungtieren, vernichtet werden. Kollisionen von Baufahrzeugen mit ausweichenden Tieren lassen sich durch Abzäunungen vermeiden. Nächtliche Bauarbeiten sollten insbesondere bei der Querung von Fließgewässern mit Biber- und Fischotterbesatz nur nach sorgfältiger Prüfung durchgeführt werden (IBNI 2008a S. 45 ff.).

2.2.4.5 Avifauna

Von den Bauarbeiten für Erdkabeltrassen können vor allem lärm- und störungsempfindliche Vogelarten beeinträchtigt werden, die in der Projektumgebung brüten oder ihre Jungen aufziehen. Um dies zu vermeiden, muss ein geeigneter Zeitraum für die Baumaßnahme festgelegt werden. Das Zeitfenster wird im Wesentlichen durch die störungsempfindliche Brutzeit von März bis Ende August bestimmt. Regional, besonders in der Nähe von Gewässern, die als Rasthabitat dienen, sind sensible Zeitabschnitte (bspw. Mauser, Sammelschlafplätze von Wasservögeln im Herbst) zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund sind in einigen Landesnaturschutzgesetzen Sperrzeiten für Rodungsarbeiten festgelegt. So dürfen vom 15. März bis 30. September (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern) oder vom 1. März bis 30. September (Niedersachsen) keine Gehölze beseitigt werden.

Ist absehbar, dass sich die Bauarbeiten nicht auf einen Zeitraum außerhalb der Brutzeit verlegen lassen, so lassen sich zumindest im Vorfeld Vorkehrungen treffen. Brutvögel können noch vor Beginn der Brutzeit vergrämt werden, so dass eine Ansiedlung verhindert wird und im Laufe der Baumaßnahmen keine Brutverluste zu verzeichnen sind (GEO et al. 2009).

2.2.4.6 Geschützte Pflanzen

Standorte geschützter Pflanzen können ggf. durch eine Feintrassierung geschont werden. Falls dies nicht möglich ist, kann die ökologische Funktion des betroffenen

Pflanzenstandorts im räumlichen Zusammenhang ggf. durch vorgezogene Kompensationsmaßnahmen weiterhin erfüllt werden.

2.3 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Schutzgebiete und Biotope

2.3.1 Übersicht

Vom Ausschluss des direkten Trassenverlaufs für tiefwurzelnde Pflanzen abgesehen sind die maßgeblichen Auswirkungen von Erdkabeln auf Biotope und Schutzgebiete nahezu ausschließlich der Bauphase zuzuordnen. Aufgrund der umfassenden Tiefbauarbeiten, die mit dem Bau von Erdkabeltrassen notwendig werden, sind mögliche temporäre oder dauerhafte Gefährdungen empfindlicher Biotope nicht auszuschließen. Mögliche Auswirkungen auf Biotope ergeben sich aus der Verlegung des Kabels, aus der Räumung eines Schutzstreifens, aus der Anlage von Baustraßen und aus dem Bau von Nebenanlagen wie Muffenbauwerken, Crossbonding-Kästen sowie ggf. Kühlungs-, Steuerungs- und Kabelübergangsanlagen (KÜA). Als mögliche Auswirkungen sind dabei ggf. kleinflächige Veränderungen von Artenreichtum und -vielfalt, eine Störung ökologischer Ausgleichsbeziehungen sowie der Verlust und die Zerstörung von Habitaten denkbar (VM 2008; TRANSPower 2010; GEO et al. 2009, ERM 2008).

In weiten Bereichen ist der Lebensraumverlust temporär. So können z.B. Schutzstreifen und abgedeckte Kabelgräben wieder Lebensraumfunktionen erfüllen, wenngleich innerhalb von Gehölzen nur in reduziertem Umfang (u.a. ERM 2008, S. 6.2-4/5). In vereinzelt Fundamentbereichen für Portale, Geräteträger etc. ist aufgrund teilweiser Flächenversiegelung ein vollständiger Verlust des Lebensraums zu erwarten.

2.3.2 Schutzgebiete

2.3.2.1 Streng geschützte Gebiete

Streng geschützte Gebiete (NSG, Nationalpark, FFH-/EUV-Gebiet, Zone 1+2 Biosphärenreservat, RAMSAR-Gebiete) sind in besonderem Maße mit empfindlichen Biotopen ausgestattet, für die hinsichtlich der Verlegung von Erdkabeln ein erhöhtes Risiko besteht. Die Schutzbedürftigkeit dieser speziellen Naturräume sollte zur Vermeidung späterer Planungskonflikte schon frühzeitig bei der Trassenplanung beachtet werden. Einem strengen gesetzlichen Pauschalschutz unterliegen darüber hinaus nach § 30 BNatSchG u.a. folgende Biotoptypen:

1. natürliche oder naturnahe Bereiche fließender und stehender Binnengewässer einschließlich ihrer Ufer und der dazugehörigen uferbegleitenden natürlichen

- oder naturnahen Vegetation sowie ihrer natürlichen oder naturnahen Verlandungsbereiche, Altarme und regelmäßig überschwemmten Bereiche,
2. Moore, Sümpfe, Röhrichte, Großseggenrieder, seggen- und binsenreiche Nasswiesen, Quellbereiche, Binnenlandsalzstellen,
 3. offene Binnendünen, offene natürliche Block-, Schutt- und Geröllhalden, Lehm- und Lösswände, Zwergstrauch-, Ginster- und Wacholderheiden, Borstgrasrasen, Trockenrasen, Schwermetallrasen, Wälder und Gebüsche trocken-warmer Standorte,
 4. Bruch-, Sumpf- und Auenwälder, Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder, subalpine Lärchen- und Lärchen-Arvenwälder,
 5. offene Felsbildungen, alpine Rasen sowie Schneetälchen und Krummholzgebüsche,
 6. Fels- und Steilküsten, Küstendünen und Strandwälle, Strandseen, Boddengewässer mit Verlandungsbereichen, Salzwiesen und Wattflächen im Küstenbereich, Seegraswiesen und sonstige marine Makrophytenbestände, Riffe, sublitorale Sandbänke, Schlickgründe mit bohrender Bodenmegafauna sowie artenreiche Kies-, Grobsand- und Schillgründe im Meeres- und Küstenbereich.

Biotope in streng geschützten Gebieten können i.d.R. als hoch empfindlich gegenüber Eingriffen eingestuft werden. Da Schutzgebiete häufig letzte Rückzugsmöglichkeiten für solche Arten sind, die außerhalb dieser Gebiete kaum noch vorkommen, könnte sich der Erhaltungszustand der lokalen Population einer der betroffenen Arten insbes. durch Störungen während der Bauphase maßgeblich verschlechtern. Streng geschützte Biotope stehen jedoch nicht grundsätzlich der Realisierung einer Kabeltrasse entgegen. So wurden bspw. Erdkabeltrassen durch die Wattenmeer-Nationalparks zugelassen. Zweifellos bedarf es zur Inanspruchnahme eines streng geschützten Gebietes jedoch einer besonderen Notwendigkeit.

2.3.2.2 Schwächer geschützte Gebiete

Gegenüber Biotopen in streng geschützten Gebieten kommt Biotopen in weniger streng geschützten Gebieten (LSG, Zone 3 in Biosphärenreservaten, Naturparke) eine abgeschwächte Lebensraumbedeutung zu. Doch auch diese Schutzgebiete sind so gut es geht zu meiden, denn Vegetationsverluste, Bodenverdichtung und andere unerwünschte Nebenerscheinungen sind bei der Kabelverlegung auch in diesen Gebieten unvermeidbar. Bei besonderer Notwendigkeit ist zu prüfen, ob sich die Beeinträchtigungen nach standörtlicher Vorprüfung und mit Hilfe von Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen auf ein zuträgliches Maß abschwächen lassen.

Baubedingt kann es zu Störungen (§ 44 Abs. 1 Nr.2 BNatSchG) besonders bzw. streng geschützter Arten kommen, bspw. wenn der Eingriff in der Nähe ganzjährig

frequenter Wasservogellebensräume stattfindet, doch ist die Verschlechterung des Erhaltungszustandes der lokalen Population einer der betroffenen Arten in diesen Gebieten deutlich unwahrscheinlicher als in den streng geschützten Gebieten. Durch Anlage und Betrieb eines Kabels fallen Störungen deutlich geringer aus als in der Bauphase.

2.3.3 Gefährungskriterien für Biotope

Zur ersten Einstufung des Konfliktpotenzials eines Biotoptyps gegenüber Eingriffen durch Erdkabeltrassen wird die nationale Rote Liste der Biotoptypen (vgl. BfN 2008) herangezogen. Den Ausgangspunkt bildet dabei die „Einstufung der regionalen Gefährdung“. Entscheidend für die Einstufung auf einer 9-stufigen Skala entspr. BfN (2006, S. 11), ist im Einzelfall eine Zusammenschau der Gefährdung durch dauerhaften Flächenverlust und dauerhafte qualitative Veränderungen mit der Regenerierbarkeit.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass Biotoptypen der Stufe 1, die von vollständiger Vernichtung bedroht sind, durch kein Vorhaben in Anspruch genommen werden dürfen. Stufe 2 bedeutet eine starke Gefährdung und damit im Allgemeinen ein sehr hohes Konfliktpotenzial gegenüber Eingriffen. Gefährdeten Biotoptypen mit der Stufe 3 wird ein hohes bis erhöhtes Konfliktpotenzial zugeordnet. Falls sich die Biotoptypen bedingt regenerieren lassen, vermindert dies das Konfliktpotenzial entsprechend. Unter „Regenerierbarkeit“ wird sowohl das biotopeigene Potenzial zur selbständigen Regeneration nach Beendigung negativer Beeinträchtigungen als auch die Möglichkeit einer Wiederentwicklung durch gestaltendes Eingreifen des Menschen im Zuge von Maßnahmen zur Regeneration oder Neuentwicklung von Biotopen verstanden (BfN 2006, S. 15). Acker- und Grünflächen sind in der Lage, sich relativ schnell wieder zu regenerieren. Empfindlichere und hochwertige Biotope wie z.B. Gehölzbiotope und Feuchtgebietsbiotope bleiben dagegen langfristig geschädigt (GEO et al. 2009, S. 153).

Ein besonderes Augenmerk ist auf natürliche Standorte kälteliebender Arten (Nordhänge, Senken) zu richten. Hier ist im Zweifel zu prüfen, ob Pflanzen und Böden ausreichend wärmetolerant sind, um bei Erdkabeln auch Ausnahmesituationen mit höherer Wärmeemission zu überstehen.

Die Rote Liste der Biotope enthält weitere planungsrelevante Informationen, die zur Beurteilung der Eingriffsintensität durch Erdkabel hinzugezogen werden können. Hierzu gehören u.a. Angaben über aktuelle Bestandsentwicklungen und die Grundwasserabhängigkeit im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie.

Tabelle 3: Bewertungsrahmen zur Klassifikation des Konfliktpotenzials von Biotoptypen gegenüber den baubedingten Auswirkungen von Erdkabeln (Eigene Darstellung nach BfN 2006)

STUFE	GEFÄHRDUNGSSTATUS NACH ROTER LISTE (BFN 2006)	PAUSCHALER SCHUTZ-STATUS	REGENERIERBARKEIT	KONFLIKT-POTENZIAL
1	von vollständiger Vernichtung bedroht: Biotoptypen, von denen nur noch ein geringer Anteil der Ausgangsfläche bzw. der Ausgangsbestände vorhanden ist und mit deren vollständiger Vernichtung gerechnet werden muss, wenn die Gefährdungsursachen weiterhin einwirken oder bestandserhaltende Schutz- und Hilfsmaßnahmen nicht unternommen werden, nicht erfolgreich sind oder wegfallen.	§ 30 BNatSchG	alle Werte	Ausschluss
1	von vollständiger Vernichtung bedroht (s.o.)	kein Status	alle Werte	Ausschluss
2	stark gefährdet: Biotoptypen, deren Flächen- bzw. Bestandsentwicklung in annähernd dem gesamten Betrachtungsraum stark rückläufig sind oder die bereits in mehreren Regionen ausgelöscht sind.	§ 30 BNatSchG	alle Werte	sehr hoch
2	stark gefährdet (s.o.)	kein Status	N, K, S	hoch
2	stark gefährdet (s.o.)	kein Status	B	hoch
3	gefährdet: Biotoptypen, deren Flächen- bzw. Bestandsentwicklung in weiten Teilen des Betrachtungsraums negativ sind oder die bereits vielerorts lokal ausgelöscht sind.	§ 30 BNatSchG	N, K, S	erhöht
3	gefährdet (s.o.)	§ 30 BNatSchG	B	erhöht
3	gefährdet (s.o.)	kein Status	alle Werte	erhöht
r	rare, enge geographische Restriktion: Biotoptypen, die im Betrachtungsraum nur sehr regional verbreitet sind oder natürlicherweise nur in geringer Gesamtfläche bzw. Bestandszahl vorkommen, aktuell aber keine Gefährdung gemäß den Kategorien 1 bis 3 aufweisen. Eine potenzielle Gefährdung besteht immer und kann schon durch geringfügigen Flächenverlust in eine hohe Gefährdung umschlagen.	alle Werte	alle Werte	mäßig
V	Vorwarnliste. Biotoptypen, die eine Rückgangstendenz zeigen (auch langfristig), die aber bislang noch nicht im Sinne der Kategorie 1 bis 3 gefährdet sind.	alle Werte	alle Werte	mäßig
*	derzeit keine Gefahr erkennbar	alle Werte	alle Werte	kein

Legende: N = nicht regenerierbar; K = kaum regenerierbar; S = schwer regenerierbar; B = bedingt regenerierbar (bis in 15 Jahren); X = keine Einstufung möglich

2.3.4 Lineare Biotope

Bei der Querung bzw. Zerschneidung von linearen Biotoptypen wie Flüssen und Bächen, Hecken oder Baumreihen während der Errichtung einer Erdkabeltrasse kommt es regelmäßig zu negativen Auswirkungen auf die vorhandenen Lebensräume (u.a. VM 2008, S. 39). Die Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen macht

deutlich, dass vor allem naturnahe Fließgewässer vielfach als stark gefährdet bzw. als von der Vernichtung bedroht gelten (BfN 2006, S. 167 ff.). Eine Unterdückerung, die bei weichen Böden auch unter Baugrundgesichtspunkten empfehlenswert ist, kann temporären und dauerhaften Störungen der Biotopeigenschaften und des Artenspektrums vorbeugen (vgl. Abschn. 2.4.5). Bei Hecken und Baumreihen sind Qualitätsminderung und Funktionsverlust des Lebensraums insbesondere für Kleinsäuger und Vögel zu erwarten (VM 2008, S. 39).

Tabelle 4: Lineare Biotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)

BIOTOPTYP (LINEARE BIOTOPTYPEN)	GEFÄHRDUNGSSTATUS	REGENERIERBARKEIT	TENDENZ	§ 30 BNATSchG
Gebüsche mit überwiegend autochthonen Arten (Gebüsche nasser bis feuchter organischer Standorte)	2	S	positiv	
Gebüsche mit überwiegend autochthonen Arten (Gebüsche nasser bis feuchter organischer Standorte: Zwergbirkengebüsch)	1	S	negativ	
Gebüsche mit überwiegend autochthonen Arten (Gebüsche nasser bis feuchter organischer Standorte: Moor-Gebüsch)	2	S	positiv	
Gebüsche trocken-warmer Standorte (Buxus-Gebüsch)	2	S	stabil	§
Gebüsche trocken-warmer Standorte (trockenes Zwerg- und Weichselkirschen Gebüsch)	1-2	K	stabil	§
Feldgehölze mit überwiegend autochthonen Arten (Feldgehölze nasser bis feuchter u. trocken-warmer Standorte)	2-3	S	stabil	
Hecken mit überwiegend autochthonen Arten (Wallhecke, Knick)	2	S	stabil	
Hecken mit überwiegend autochthonen Arten (1. Hecke auf Lesesteinriegel, 2. Hecken auf ebenerdigen Rainen oder Böschungen)	2-3	S	1. stabil 2. negativ	
Einzelbäume, Baumreihen und Baumgruppen (Kopfbäum)	2	S	negativ	
Einzelbäume, Baumreihen und Baumgruppen (Allee bzw. Baumreihe, einzelne Obstbaumreihe oder einzelner Obst- bzw. Nussbaum)	2-3	S	negativ	
Streuobstbestand [Komplex] (auf Grünland und Acker)	2	S	negativ	
Rebkultur und Rebbrachen (Rebkulturen in Steillage auf skelettreichem Boden)	2	S	negativ	§

Legende: Gefährdung: 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet; 3 = gefährdet. Regenerierbarkeit: N = nicht regenerierbar, K = kaum regenerierbar, B = bedingt regenerierbar, S = schwer regenerierbar. Tendenz: positiv = Bestandsentwicklung positiv, stabil = Bestand weitgehend stabil negativ = Bestandsentwicklung negativ ? = Entwicklungstendenz nicht abschätzbar. § 30 BNatSchG: § = gesetzlich geschütztes Biotop.

2.3.5 Gehölzbiotope

Gehölzlebensräume sind durch die Verlegung von Erdkabeln in besonderem Maße betroffen, da die Kabeltrasse bei der zumeist üblichen freien, nicht getunnelten Verlegung des Kabels im Erdreich bzw. in Magerbeton auf Breite des Schutzstrei-

fens von mittleren bis großen Gehölzen zu räumen und freizuhalten ist. Waldbiotop sind durch derartige Trassen von Zerschneidung bedroht. Insbesondere die seltenen Waldbiotop, die als "von der vollständigen Vernichtung bedroht" eingestuft werden (vgl. Tabelle 5), sind von der Trassenwahl auszuschließen. Auch die in der Roten Liste als „stark gefährdet“ eingestuften Gehölze sollten bei der Trassenwahl möglichst ausgeschlossen werden (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Gehölzbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)

BIOTOPTYP (GEHÖLZBIOTOPE)	GEFÄHRDUNGSSTATUS	REGENERIERBARKEIT	TENDENZ	§ 30 BNatSchG
(Nadel(misch)-)Moorwald (Fichten-Moorwälder, Waldkiefern-Moorwälder, Birken-Moorwälder, Latschen-Moorwälder)	1-2	N	negativ	§
(Nadel(misch)-)Moorwald (Birken-Moorwälder, Latschen-Moorwälder)	2	N	stabil	§
Natürliche bzw. naturnahe, trockene bis wechselfeuchte Kiefernwälder (trockene Sand-Kiefernwälder)	1-2	K	stabil	§
Birken-Moorwald (mit intaktem Wasserhaushalt)	2	K	negativ	§
Bruchwälder (Birken- und Birken-Erlenbruchwälder)	2	K	negativ	§
(Laub(misch)-)Auenwälder (Weichholzaunenwälder, Hartholzaunenwälder)	2	K	?	§
(Laub(misch)-)Tideauenwälder (Weichholz-Tideauenwald)	1	K	positiv	§
(Laub(misch)-)Tideauenwälder (Hartholz-Tideauenwald)	1	K	stabil	§
Laub- und Mischwälder feuchter bis frischer Standorte (Eichen-Hainbuchenwald staunasser bis frischer Standorte, Birken-Eichenwald feuchter bis frischer Standorte)	2	K	negativ	
Laub- und Mischwälder feuchter bis frischer Standorte (montane buchen-Tannen-/Fichtenwälder (Buchenanteil > 50%))	2	K	stabil	
Laub(misch)wälder trockener bzw. trocken-warmer Standorte (trockene Eichen-Hainbuchenwälder)	2-3	K	negativ	§
Laub(misch)wälder trockener bzw. trocken-warmer Standorte (Seggen-Buchenwald)	2-3	K	stabil	§
Laub(misch)wälder trockener bzw. trocken-warmer Standorte (Blaugras-Buchenwald)	2	K	stabil	§
Laub(misch)wälder trockener bzw. trocken-warmer Standorte (Eichen-Trockenwälder)	2	K	positiv	§

Legende: Gefährdung: 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet; 3 = gefährdet. Regenerierbarkeit: N = nicht regenerierbar, K = kaum regenerierbar, B = bedingt regenerierbar, S = schwer regenerierbar. Tendenz: positiv = Bestandsentwicklung positiv, stabil = Bestand weitgehend stabil negativ = Bestandsentwicklung negativ ? = Entwicklungstendenz nicht abschätzbar. § 30 BNatSchG: § = gesetzlich geschütztes Biotop.

Die Entstehung von Schneisen in geschlossenen Waldbeständen aufgrund der bei einem frei verlegten Kabel¹ notwendigen Entfernung aller tiefwurzelnden Pflanzen hat aufgrund einer daraus resultierenden Zunahme von Sonneneinstrahlung

¹ Bei der deutlich aufwendigeren Verlegung im Tunnel fällt der Schutzstreifen schmaler aus.

und Windgeschwindigkeit eine Veränderung des Waldinnenklimas zur Folge. Im Einzelnen können sich die Lebensbedingungen der Bodenfauna verschlechtern sowie die daraus resultierende Diversität der Organismen abnehmen (GEO et al. 2009, S. 104 zit. nach HASKELL 2000). Eine Barrierewirkung auf wandernde Tiere wird von GEO et al. (2009, S. 105) nicht erwartet. Die neu entstandenen Waldschneisen können auch positive Auswirkungen auf bestehende Gehölzbiotope haben, bspw. durch Zunahme von Vogelarten der Waldränder und Hecken wie Goldammer, Baumpieper und Neuntöter (vgl. GEO et al. 2009, S. 105).

2.3.6 Feuchtbiotope

Feuchtgebietsbiotope, insbesondere Moore, Riede und Auenwiesen (vgl. Tabelle 6), stellen für die Verlegung von Erdkabeln nicht nur einen schlechten Baugrund dar, sondern sind auch in vielen ökologischen Faktoren sehr vulnerabel (vgl. u.a. ERM 2008, S. 6.2-138; GEO et al. 2009, S. 226; VM 2008, S. 39). Feuchtbiotope sind u.a. auch bevorzugte Standorte kälteliebender Arten, die ggf. auch auf kurzfristige Erwärmungen reagieren. Waldfreie Niedermoore und Sümpfe sowie Grünland nasser bis feuchter Standorte sind der Roten Liste zufolge als „von der vollständigen Vernichtung bedroht“ einzustufen (BfN 2006, S. 220 ff.).

Tabelle 6: Feuchtbiototypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)

BIOTOTYP (FEUCHTGEBIETSBIOTOPE)	GEFÄHRDUNGSSTATUS	REGENERIERBARKEIT	TENDENZ	§ 30 BNatSchG
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe (oligo- bis mesotrophe, kalkarme Niedermoore; oligo- bis mesotrophe, kalkreiche Niedermoore)	1	K	negativ	§
Grünland nasser bis (wechsel-)feuchter Standorte (Pfeifengraswiesen; Brenndolden-Auenwiesen)	1	S	negativ	§
Salzgrünland des Binnenlandes	1	K	?	§
Hochmoore (weitgehend intakt)	1	N	negativ	§
Übergangsmoore und Zwischenmoore	1-2	N	negativ	§
Nährstoffarme Großseggenriede	2	S	negativ	§
Schneidenröhricht	1-2	S	negativ	§
Schilfröhrichte (Schilf-Wasserröhricht)	2-3	S	?	§

Legende: Gefährdung: 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet; 3 = gefährdet. Regenerierbarkeit: N = nicht regenerierbar, K = kaum regenerierbar, B = bedingt regenerierbar, S = schwer regenerierbar. Tendenz: positiv = Bestandsentwicklung positiv, stabil = Bestand weitgehend stabil negativ = Bestandsentwicklung negativ ? = Entwicklungstendenz nicht abschätzbar. § 30 BNatSchG: § = gesetzlich geschütztes Biotop.

Baubedingt könnte es zu Schädigungen der Vegetationsdecke und der Bodenfunktion kommen (vgl. Abschnitt zum *Schutzgut Boden*). Die Standortbedingungen in der näheren Umgebung des Kabels können nicht nur infolge der Baumaßnahmen

verändert werden, sondern auch aufgrund temporärer Bodenerwärmungen im Laufe der Betriebsphase eine dauerhafte Verschiebung des Artenspektrums herbeiführen (VM 2008, S. 39). Im Allgemeinen wird man solche Gebiete aus technischen und ökologischen Erwägungen frühzeitig von der Trasse ausschließen bzw. wenn unvermeidlich unterdüken, was bei angemessener Tiefe und Abstand der Dükereinlässe zumeist ökologisch unbedenklich ist (vgl. Abschn. 2.4.5).

2.3.7 Ackerbiotope

Landwirtschaftlich genutzte Flächen, insbesondere Ackerflächen, sind nach fachgemäß ausgeführten Tiefbauarbeiten, die übermäßige Bodenverdichtungen vermeiden, im Allgemeinen gut regenerierbar. In Einzelfällen gibt es jedoch schutzwürdige Äcker und Ackerbrachen, deren Zustand nur bedingt regenerierbar ist und die bei der Trassenwahl nach Möglichkeit umgangen werden sollten (vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Ackerbiototypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)

BIOTOTYPEP (ÄCKER UND ACKERBRACHEN)	GEFÄHRDUNGSSTATUS	REGENERIERBARKEIT	TENDENZ	§ 30 BNATSchG
Flachgründige, skelettreiche Kalkäcker und Kalkerbrache (extensiv bewirtschafteter flachgründiger und skelettreicher Kalkacker mit vollständiger Segetalvegetation)	1-2	B	negativ	
Flachgründige, skelettreiche Kalkäcker und Kalkerbrache (flachgründiger und skelettreicher Kalkacker mit artenreicher Segetalvegetation)	2	B	negativ	
Äcker und Ackerbrache auf flachgründigem, skelettreichem Silikatverwitterungsboden (extensiv bewirtschafteter Acker auf flachgründigem, skelettreichem Silikatverwitterungsboden mit vollständiger Segetalvegetation)	1	B	negativ	
Äcker und Ackerbrache auf flachgründigem, skelettreichem Silikatverwitterungsboden (flachgründiger und skelettreicher Kalkacker mit artenreicher Segetalvegetation)	2	B	stabil	
Äcker und Ackerbrache auf Sandboden (extensiv bewirtschafteter Acker auf Sandboden mit vollständiger Segetalvegetation)	1	B	negativ	
Äcker und Ackerbrache auf Sandboden (Acker auf Sandboden mit artenreicher Segetalvegetation)	2	B	stabil	
Äcker und Ackerbrachen auf Löss-, Lehm oder Tonboden (extensiv bewirtschafteter Acker auf Löss-, Lehm- oder Tonboden mit vollständiger Segetalvegetation)	1-2	B	negativ	
Äcker und Ackerbrachen auf Löss-, Lehm oder Tonboden (Acker auf Löss-, Lehm- oder Tonboden mit artenreicher Segetalvegetation)	2-3	B	positiv	

Legende: Gefährdung: 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet; 3 = gefährdet. Regenerierbarkeit: N = nicht regenerierbar, K = kaum regenerierbar, B = bedingt regenerierbar, S = schwer regenerierbar. Tendenz: positiv = Bestandsentwicklung positiv, stabil = Bestand weitgehend stabil negativ = Bestandsentwicklung negativ ? = Entwicklungstendenz nicht abschätzbar. § 30 BNatSchG: § = gesetzlich geschütztes Biotop.

Aufgrund der im Normalbetrieb geringen Wärmeemissionen einerseits und der Robustheit heutiger Kultursorten andererseits rechnen wir nicht mit nennenswerten landwirtschaftlichen Beeinträchtigungen. Belastbare Untersuchungen, die der Komplexität möglicher Bodentypen, Anbausorten und Kabelbelastungssituationen auf Höchstspannungsebene gerecht werden, fehlen jedoch noch weitgehend. PATIL et al. (2010) stellten in einem Feldversuch zum Klimawandel bei einer dauerhaften Boden Erwärmung um 5 K in 10 cm Tiefe eine Verschiebung von Wachstumsphasen zugunsten der Halmentwicklung und zu Ungunsten der Ährenentwicklung von Weizen fest. Die Folgen möglicher Wärmeemission von Hochspannungskabeln auf den Getreideanbau wurden nach einem an der Universität Freiburg durchgeführten Freilandversuch von TRÜBY u. UThER (2011) als marginal bezeichnet (vgl. auch UThER et al. 2009). Viel hängt letztlich von der technischen Auslegung des jeweiligen Kabels ab. Wenn seltene Ausnahmesituationen einer über lange Zeit andauernden deutlich erhöhten Wärmeemission auf schlecht ableitenden Böden mit phänologisch empfindlichen Entwicklungsphasen (z.B. Frühjahrsaustrieb) zusammentreffen, können landwirtschaftliche Beeinträchtigungen, bspw. durch Spätfrost, nicht ausgeschlossen werden (vgl. UThER et. al. 2009).

2.3.8 Trockenrasen und spezifische Grünlandstandorte

Tabelle 8: Trockenrasen- und Grünlandbiotoptypen mit hohem bis sehr hohem Konfliktpotenzial gegenüber Erdkabeltrassen (Nach BfN 2006, S. 88 ff.)

BIOOPTYP (TROCKENRASEN UND GRÜNLAND)	GEFÄHRDUNGSSTATUS	REGENERIERBARKEIT	TENDENZ	§ 30 BNATSchG
Trockenrasen	1-2	N	negativ	§
Halbtrockenrasen (subkontinentale Halbtrockenrasen auf karbonatischem oder sonstigem basenreichen Boden, beweidet)	2	S	negativ	§
Halbtrockenrasen (subkontinentale Halbtrockenrasen auf karbonatischem oder sonstigem basenreichen Boden, gemäht)	1-2	S	negativ	§
Halbtrockenrasen auf silikatischem Untergrund (subkontinentale auf silikatischem, basenarmen Boden, gemäht)	1-2	S	negativ	§
Halbtrockenrasen auf silikatischem Untergrund (subkontinentale auf silikatischem, basenarmen Boden, beweidet)	2	S	negativ	
Steppenrasen subkontinental, auf tiefgründigem Boden (gemäht u. beweidet)	1-2	N	negativ	§
Sandtrockenrasen (anueller Sandtrockenrasen, Silbergrasrasen)	2	S	negativ	§
Sandtrockenrasen (ausdauernd mit geschlossener Narbe, gemäht/beweidet)	1-2	S	negativ	§
Borstgrasrasen (trockener bis feuchter Standorte)	1-2	S	negativ	§
Borstgrasrasen (feuchter Standorte der planaren bis submontanen Stufe)	1	S	negativ	§
Artenreiches Grünland frischer Standorte	2	S	negativ	

Legende: Gefährdung: 1 = von vollständiger Vernichtung bedroht, 2 = stark gefährdet; 3 = gefährdet. Regenerierbarkeit: N = nicht regenerierbar, K = kaum regenerierbar, B = bedingt regenerierbar, S = schwer regenerierbar. Tendenz: positiv = Bestandsentwicklung positiv, stabil = Bestand weitgehend stabil negativ = Bestandsentwicklung negativ ? = Entwicklungstendenz nicht abschätzbar. § 30 BNatSchG: § = gesetzlich geschütztes Biotop.

Trockenrasen und einige wenige spezifische Grünlandstandorte sind nur schwer regenerierbar und sind daher bei der Wahl einer Erdkabeltrasse nach Möglichkeit zu umgehen (vgl. Tabelle 8).

2.3.9 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Der Eingriff in schutzwürdige Biotopie sollte möglichst gering gehalten werden. Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen können am effektivsten bei der Trassierung auf einem frühzeitigen Planungsstadium einsetzen, damit ökologisch wertvolle Biotopie beim Bau gar nicht erst tangiert werden (ERM 2010). Durch eine wohlüberlegte Trassenführung lassen sich eine Vielzahl von Beeinträchtigungen vermeiden. Falls eine Verlegung der Trasse in schutzwürdigen Bereichen auch nach sorgfältiger Prüfung unvermeidlich ist, besteht die Möglichkeit, diese Biotopotypen zu unterdükern - dies ist allerdings mit hohen Kosten verbunden (vgl. Abschn. 2.4.5).

Vegetationsschutzmaßnahmen sind gemäß DIN 18920 durchzuführen. So ist z.B. stets zu prüfen, ob flach wurzelnde Biotopielemente neben dem Kabelgraben zwischengelagert werden können, um sie nach Beendigung der Bauarbeiten erneut am Standort wiederherzustellen. Gehölzeinschlag kann durch die Nutzung größerer Gehölzlücken minimiert werden. Ein schmal gehaltener Arbeitsstreifen kann Beeinträchtigungen verringern, ggf. sogar vollständig vermeiden (IBNI et al. 2008, S.162). Durch saisonal angepasste Bauzeitenregelungen und die Verkürzung der Inanspruchnahme wertvoller Biotopie auf ein absolutes Minimum lassen sich auch im Fall eines unvermeidlichen Eingriffs noch Beeinträchtigungen verringern, bspw. im Bereich von Feuchtlebensräumen und Gewässern durch die Reduzierung notwendiger Wasserhaltungsmaßnahmen.

2.4 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf das Schutzgut Boden

2.4.1 Übersicht

Die Verlegung von Erdkabeln im Untergrund führt v.a. in der Bauphase zu Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen auf dem Wege der Bodenverdichtung, der Störung des Bodengefüges und des Bodenwasserhaushaltes, sowie der Einbringung von Fremdstoffen. Die Anlage und der Betrieb von Höchstspannungskabeln wirkt sich

ggf. auf dem Wege der Bodenversiegelung sowie der Erwärmung und potenzieller Austrocknung nachteilig auf den Boden aus.

Boden ist stets Teil eines Ökosystems und bildet zusammen mit der bodennahen Luftschicht den Lebensraum für die Lebensgemeinschaft aus Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 2010, S. 3). Dabei ist zu beachten, dass Bodeneigenschaften oft auf engstem Raum variieren (vgl. RICHER/MÜHLETHALER 2002, S. 12). Neben seinen natürlichen Funktionen erfüllt der Boden Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und für Bodennutzungen (BBodSchG 1998, § 2). Einflussfaktoren der Bauphase wie Abgrabung, Versiegelung, Verdichtung und Bodenumlagerung als auch Einflussfaktoren der Betriebsphase wie Erwärmung und Austrocknung wirken sich auf die Bodenfunktionen je nach Eingriffsintensität und Standorteigenschaft temporär oder dauerhaft aus (vgl. BOSCH & PARTNER u. WOLF 2000, S. 108). Im Einzelnen sind v.a. Beeinträchtigungen von Bodenaufbau, Bodenwasserhaushalt, Lebensraumfunktion und Archivfunktion möglich.

Das Risiko irreversibler Bodenschäden durch Bau und Betrieb von Erdkabeln kann durch eine bodenkundliche Begleitung erheblich gesenkt werden (vgl. BLUM 2007, S. 140; RICHER/MÜHLTHALER 2002, S. 13).

2.4.2 Schutzwürdige Böden

Der Bodenschutz ist in Deutschland gesetzlich im Rahmen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) verankert und ist in räumlichen Planungsprozessen zu berücksichtigen. Aus Sicht der Bodenvorsorge gelten Böden mit folgenden Eigenschaften als besonders schutzwürdig (vgl. LBEG 2008, S. 8):

- besondere Standorteigenschaften,
- hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit,
- hohe kulturgeschichtliche Bedeutung,
- hohe naturgeschichtliche Bedeutung,
- Seltenheit.

"Böden mit besonderen Standorteigenschaften" sind v.a. extrem nasse Böden wie z.B. Hoch- und Niedermoore sowie sehr nährstoffarme Böden.

"Hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit" ist insbesondere für die Agrarwirtschaft von erheblicher Bedeutung. Parabraunerde oder auch Schwarzerde gelten z.B. als sehr fruchtbar und sind als besonders schutzwürdig einzustufen (vgl. LBEG 2008, S.11).

"Kulturhistorisch bedeutsame Böden" sind Zeugnisse vormaliger Bewirtschaftungsformen. Solche Böden sind bspw. durch heute nicht mehr gebräuchliche ackerbauliche Maßnahmen entstanden, die charakteristische Spuren in den Bodenprofilen hinterlassen haben. Beispiel eines kulturhistorisch bedeutsamen Bodens ist der Plaggenesch (vgl. ERM 2008, 6-4.14).

"Böden mit hoher naturgeschichtlicher Bedeutung" liefern Informationen über vergangene Klima- und Vegetationsverhältnisse wie z.B. die geowissenschaftlich bedeutenden Paläoböden. Hierzu gehören auch Geotope in Form von markanten Bodenformationen, Gesteinsaufschlüssen, Mineralienfundstellen, Fossilien und Höhlen.

"Seltene Böden" gelten als besonders schutzwürdig und sind häufig durch eine geringe flächenhafte Verbreitung gekennzeichnet. Hierzu gehören v.a. naturnahe Moore und Gleye mit starker Vernässung (vgl. LBEG 2008, S. 24).

Informationsgrundlagen über schutzwürdige Böden sind über die entsprechenden Landesbehörden verfügbar, bspw. über das Niedersächsische Bodeninformationssystem (vgl. LBEG 2008).

2.4.3 Bodenverdichtung

Während der Bauphase wird der Boden vielfältig durch schwere Baufahrzeuge belastet und ist damit im Hinblick auf eine Bodenverdichtung gefährdet. Bodenverdichtung tritt ein, wenn „die Auflast die Eigenstabilität der Böden – gemessen als Scherwiderstand – übertrifft“ (BOSCH&PARTNER U. WOLF 2000, S. 110). Bodenverdichtung kennzeichnet sich durch eine Abnahme des Porenanteils (Vol %) mit flüssigen und gasförmigen Bestandteilen und eine Zunahme der festen Volumenteile im Boden. Dies hat erhebliche Folgen für die Bodenfunktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010 S. 516).

Bei der Verlegung eines Erdkabels muss die gesamte Kabeltrasse für den Abtransport von Bodenmaterial und den Antransport von Baumaterial, insbesondere auch Bettungsmaterial zugänglich sein (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1). Ein Zugang für Schwertransporter ist mindestens im Abstand der verwendeten Kabellängen erforderlich (vgl. GEO et al. 2009, S. 36). Auch bei Dükerungen von mehr als 300 m Länge kommen größere Bohranlagen auf einer Fläche von rd. 1.000 m² auf der Seite des Bohrgeräts und rd. 300 m² auf der Zielseite der Bohrungen zum Einsatz. Für ihren Transport werden Schwerlaster und demzufolge auch spezielle Baustraßen benötigt (vgl. GEO et al. 2009, S. 46). Für die Intensität der Verdichtung sind als Fahrzeugparameter Gesamtmasse, Radlast, Reifeninnendruck, Überrollhäufigkeit und Kontaktfläche entscheidend (BOSCH et al. 2000, S. 110). Die Höchstspannungskabel werden auf Spezialspulen mit Tiefladern zu der Kabeltrasse transportiert, wobei das Gewicht einer Spule bei ca. 40 t liegt (vgl. PAUL 2007, S. 12, vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.5.3).

Wenn das Baugelände ohne schützende Radunterlage befahren wird, kann es zu Verdichtungen bis in tiefere Bodenschichten kommen (vgl. GEO et al. 2009,

S. 87). Durch Geräte >40 t hervorgerufene Strukturschäden und Verdichtungen im Unterboden (bis 1,7 m Tiefe gemessen) sind BLUM (2007, S. 136) zufolge irreversibel. Feuchte und nasse Böden können schon bei einmaligem Überfahren mit schweren Baumaschinen geschädigt werden. In diesem Zustand wird das Hohlräumvolumen im Unterboden schon durch geringen Druck reduziert. Eine gute bis sehr gute Befahrbarkeit und gleichzeitig geringe Gefährdung ist unabhängig vom Tongehalt des Bodens bei einer Feuchtestufe 2 gegeben. Bei einem Tongehalt < 45 und einer Feuchtestufe 4 ist der Boden jedoch nicht nur schlecht befahrbar, sondern auch hoch gefährdet (SPONAGEL 2005). Schluffreiche und feinsandige Böden mit geringem Tongehalt reagieren im nassen Zustand aufgrund ihrer geringen Gefügestabilität mit Verschlammung. Böden mit hohem Tongehalt sind im feuchten Zustand aufgrund der teigigen Konsistenz der Tonanteile besonders verdichtungsempfindlich. Auch die Empfindlichkeit von Moorböden ist gegenüber Verdichtung extrem hoch (AG Boden 1994). Besonders schutzwürdige Böden und deren Empfindlichkeit gegenüber Verdichtung sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9: Verdichtungsempfindliche schutzwürdige Böden (Nach LBEG 2008 u. BUNDESVERBAND BODEN 2003)

SCHUTZWÜRDIGKEIT	VERDICHUNGSEMPFINDLICHE BÖDEN
Böden mit besonderen Standorteigenschaften	Extrem nasse Böden (z.B. Hoch- und Niedermoore, Anmoorböden, Gleye, Auenböden mit natürlichem Wasserhaushalt oder nur geringfügig abgesenkten Wasserständen)
	Salzböden des Binnenlandes
	Sehr nährstoffarme Böden
Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit	Plaggenesche in der Geest
	Parabraunerden
Böden mit hoher kulturgeschichtlicher Bedeutung	Plaggenesche mit charakteristischer Ausbildung
	Wölbäcker und Terrassenäcker mit charakteristischer Ausbildung
	Wurten
	Heidepodsole mit charakteristischer Ausbildung und Vegetation
	Kultivierte Moore (z.B. Fehnkultur, Sanddeckkultur; im Einzelfall prüfen)
Böden mit hoher naturgeschichtlicher Bedeutung	Repräsentative Böden (Boden-Dauerbeobachtungsflächen als Vertreter repräsentativer Böden)
	Paläoböden
	Stauwasserböden (Pseudogley unter Wald oder in NSG und/oder starke Vernässung, als Extremstandort; Stagnogley)
	Terrestrische anthropogene Böden (Kolluvien unter Wald u. in NSG; Plaggenesch als schützenswert einzustufen; Hortisol und Rigisol unter Wald, Biotop u. in NSG; Tiefumbruchboden unter Wald u. in NSG)
	Auenböden (bei naturnahen Verhältnissen und unter Wald, Biotop, u. in NSG)
	Gleye (naturnahe Vegetationsverhältnisse unter Wald, Biotop u. in NSG)
	Marschen (Organomarsch, Moormarsch, Organomarsch über fossilem Podsol)
	Natürliche Moore
	Kultivierte Moore (als Beispiel kulturgeschichtlicher bedeutsamer Böden, unter Wald u. in NSG, Art der Kultivierung muss bekannt sein z.B. Fehnkultur, Sandmischkultur)

Bodenverdichtung schädigt primär die Regler- und Speicherfunktion der Böden für den Wasserhaushalt und führt zu Staunässe oder mangelnder Durchlüftung. Dies resultiert in verstärkter Aktivität von anaeroben Bakterien und in einem lebensungünstig veränderten Stoffhaushalt mit Auswirkungen auf das Grundwasser und die Atmosphäre (vgl. GEO et al. 2009, S. 87/93). Sekundär schädigt Bodenverdichtung das Pflanzenwachstum, wobei speziell die Durchwurzelbarkeit des Bodens sinkt, gefolgt von einem Rückgang von anfallender Pflanzen- und Wurzelstreu, welche die Lebensgrundlage für die meisten Bodenlebewesen bildet und die Basis des Nährstoffkreislaufs auf dem Boden darstellt. Daraus resultiert eine Verschiebung des Artenspektrums (vgl. BOSCH et. al. 2000, S. 112).

Aus Erfahrungen bei mechanischen Bodeneingriffen für Leitungstrassen in Dänemark schließen GEO et al. (2009, S. 93), dass es bei diesen Arbeiten nicht zwangsläufig zu Bodenverdichtungen und entsprechenden landwirtschaftlichen Nutzungseinschränkungen kommen muss. Bodenverdichtung kann im Falle einer Bündelung der benötigten Fahrstraßen bzw. Kabeltrassen mit bereits vorhandenen Verkehrswegen leicht vermieden werden (vgl. ML 2008, S. 40), doch führt dies ggf. zu kostenwirksamen Umwegen (vgl. BRAKELMANN 2004, S. 46). Die Reduzierung der besonders schwerlastigen Transporte auf die Kabeleinzugspunkte und die flexible Anlage mobiler Baustraßen sind weitere Maßnahmen, die einer Bodenverdichtung entgegenwirken (vgl. BRAKELMANN 2009). Aufgrund der besonderen Verdichtungsgefährdung nasser Böden sind an empfindlichen Standorten in Schlechtwetterphasen ggf. Bauverzögerungen nicht auszuschließen.

2.4.4 Störung des Bodengefüges durch Aushub, Zwischenlagerung und Wiedereinbau

Bei der Realisierung der Kabeltrasse kommt es zu umfangreichen Erdbewegungen. Dabei müssen die Bodenhorizonte während des Bodenaushubs sorgfältig getrennt gelagert werden, um sie anschließend in ihrer natürlichen Schichtung wieder einzubauen. Eine Rekultivierung ist sonst nicht mehr möglich (RICHER U. MÜHLETHALER 2002, S. 14). Zu Beginn der Bauphase wird der Oberboden in der gesamten Breite des Baufeldes abgetragen und neben dem Kabelgraben nach Horizonten getrennt gelagert (vgl. GEO et al. 2009, S. 40). FORWIND (2005, S. 24) zufolge ergibt sich für ein Kabelsystem ein Bodenaushub von etwa 4,5 m³/m, wobei der Bedarf an Bettungsmaterial rund 1,5m³/m beträgt. Im Berichtsteil Technik, Teil I Abschn. 1.4.5.2, wird bei 4 Systemen mit einem Aushub von etwa 18 m³/m gerechnet. Bei der abschließenden Verfüllung des Kabelgrabens wird das ursprüngliche Bodenmaterial zum größten Teil wiederverwendet, wobei Ober- und Unterboden nach Horizonten getrennt eingebaut werden.

Überschüssiges Bodenmaterial wird nach Beendigung der Bauphase abgefahren. Durch umgelagertes Bodenmaterial und die daran gebundenen Stoffe kann es in benachbarten Ökosystemen zu sogenannten *Off-Site-Schäden*, bspw. durch Gewässerbelastungen kommen (vgl. BMU 2002, S. 27). Speziell bei grundwassernahen Böden wie etwa Niedermooren führen Umlagerung und Bodenaustausch zu stark negativen Veränderungen der Bodenstruktur (vgl. ML 2008, S. 40).

Auch die Wiederverwendung desselben Bodenmaterials bei der Verfüllung der Baugrube stellt das gewachsene Bodenprofil nicht sofort wieder her. Boden kann nur in langen Zeiträumen zu seinem natürlichen Zustand regenerieren. RICHER und MÜHLTHALER (2002, S. 15) empfehlen in den ersten zwei Jahren nur extensive Grünlandwirtschaft und frühestens im dritten Jahr nach der Rekultivierung wieder Ackerbau. Zu einer chemischen Veränderung der Zusammensetzung des Bodenmaterials kommt es GEO et al. (2009, S. 89) zufolge nicht, da Ober- und Unterboden im normalen Bauablauf getrennt voneinander wieder verwendet werden.

2.4.5 Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt

Grundsätzlich sind bei der Planung und Realisierung von Wasserhaltungsmaßnahmen bzw. Grundwasserabsenkungen die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des jeweiligen Landeswassergesetzes zu beachten. Sowohl Böden mit hoch anstehendem Grundwasserstand wie z.B. Niedermoore, als auch Böden mit gespannten Grundwasserleitern können bei der Verlegung eines Erdkabels temporär oder dauerhaft geschädigt werden (vgl. u.a. GEO et al. 2009, S. 41 u. 90 ff.).

Bei hoch anstehendem Grundwasser wird während der Bauarbeiten Wasserhaltung betrieben. Die Dauer der Wasserhaltung sollte so kurz wie möglich bemessen sein, um den natürlichen Zustand des Bodens in der Umgebung der Kabeltrasse nicht nachhaltig zu verändern.

Werden durch Kabelgräben durchgängige wasserstauende Bodenhorizonte oder gespannte Grundwasserleiter durchstoßen, kann es bei anschließend unzureichendem Verschluss zu einer dauerhaften Drainagewirkung kommen – stauwasserreiche Böden könnten bspw. in die Tiefe entwässert werden. Mineralisierung und Sackung bei Moorböden sowie Versauerung und Maiboltbildung in Marschböden sind die Folge (vgl. GFN et al. 2004, S. 11-2; GEO et al. 2009, S. 92, ML 2008, S. 16). Besonders schutzwürdige Böden und deren Empfindlichkeit gegenüber Entwässerung sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Eine weitere Form unerwünschter Drainagewirkung wird durch ein Längsgefälle im Boden hervorgerufen. Sollte Wasser durch den Kabelgraben in Geländesenken

gelangen, kommt es zu Vernässungserscheinungen, die im Allgemeinen jedoch nicht dauerhaft sind (vgl. GEO et al. 2009, S. 92).

Tabelle 10: Entwässerungsempfindliche schutzwürdige Böden (nach LBEG 2008 u. BUNDESVERBAND BODEN 2003)

SCHUTZWÜRDIGKEIT	ENTWÄSSERUNGSEMPFINDLICHE BÖDEN
Böden mit besonderen Standorteigenschaften	Extrem nasse Böden (z.B. Hoch- und Niedermoore, Anmoorböden, Gleye, Auenböden mit natürlichem Wasserhaushalt oder nur geringfügig abgesenkten Wasserständen)
Seltene Böden	Stauwasserböden (Pseudogley unter Wald oder in NSG und/oder starke Vernässung, als Extremstandort; Stagnogley)
	Auenböden (bei naturnahen Verhältnissen und unter Wald, Biotop, u. in NSG)
	Gleye (naturnahe Vegetationsverhältnisse unter Wald, Biotop u. in NSG)
	Marschen (Organomarsch, Moormarsch, Organomarsch über fossilem Podsol)
	Natürliche Moore
	Kultivierte Moore (als Beispiel kulturgeschichtlicher, bedeutsamer Böden, unter Wald u. in NSG, Art der Kultivierung muss bekannt sein, z.B. Fehnkultur, Sandmischkultur)

Auswirkungen des Betriebs von Höchstspannungskabeln auf den Bodenwasserhaushalt sind grundsätzlich auf dem Wege einer Erwärmung und sukzessiven Austrocknung des Bodens denkbar. Nach BRAKELMANN (mdl. 2011) beschränken sich entsprechende Vorgänge allerdings auf die direkte Kabelumgebung. In den ersten Wochen bis Monaten einer ungebettet verlegten Kabelstrecke verliert der Boden einige cm um ein ungebettet verlegtes Kabel herum seine Kapillarität und hält danach dauerhaft einen Wärmeleitwert von 0,5 W/mK. Der Einfluss eines Hochspannungskabels auf den Bodenwasserhaushalt eines Bodens mit Wärmeleitwert 1 W/mK wurde in einem dreijährigen Freilandversuch von TRÜBY u. UTHNER (2011) untersucht. Im Ergebnis konnte kein nennenswerter Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt festgestellt werden.

2.4.6 Einbringung von Fremdstoffen

Während der Bauphase werden im Allgemeinen Magerbeton und Kabelsand als Bettungsmaterialien, in seltenen Ausnahmen auch vorgefertigte Tunnelkörper in den Boden eingebracht (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.4.5.3). Das Material reduziert die Masse des natürlich gewachsenen Bodens und den damit zusammenhängenden Bodenfunktionen. Die Folge ist bspw. ein geringer Verlust an Wurzelraum für Pflanzen. Auch das bei freier Verlegung notwendige Freihalten der Trasse von tief wurzelnden Sträuchern und Pflanzen während der Betriebsphase wirkt sich qualitativ auf Boden und Bodenfunktionen aus (vgl. PAUL 2007, S. 13; FORWIND 2005, S. 29). Nur bei nicht fachgerechter Durchführung von Bau- und Wartungsarbeiten können Schmier- und Treibstoffe in den Boden eindringen (vgl. ML 2008, S. 41). Insbesondere baubedingt ist eine unbeabsichtigte Beein-

trächtigung des Grundwassers durch Schadstoffeinträge, z.B. im Falle eines Maschinenschadens mit Austritt von Treib- oder Schmierstoffen, nicht vollständig auszuschließen (IBNI 2008, S. 78).

2.4.7 Versiegelung aufgrund von Nebenanlagen

Mit dem Bau von Nebenanlagen wie Muffenbauwerken, Cross-bonding-Kästen, Kühlungs-, Steuerungs- und Kabelübergangsanlagen (KÜA) kommt es auch bei der Anlage von Höchstspannungstrassen zu Flächenversiegelungen. Versiegelte Böden sind überbaute bzw. überdeckte Böden, die zuvor unterschiedlich stark abgetragen oder verdichtet worden sind (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010, S. 370). Grundsätzlich können Bodenversiegelungen insofern als dauerhafte Schädigung betrachtet werden. Der Anteil von Bodenversiegelungen ist bei der Anlage von Höchstspannungskabeltrassen jedoch gering.

Eine dauerhafte Anlage von trassenbegleitenden Straßen und Wegen ist BRAKELMANN (2009) zufolge nicht erforderlich, da im Reparaturfall eine Erreichbarkeit stets mit flexiblen Baustraßen hergestellt werden kann.

2.4.8 Bodenerwärmung im Betrieb

Während des Betriebs erwärmt sich ein Höchstspannungskabel und gibt diese Wärme anschließend an das Erdreich ab (vgl. Berichtsteil Technik, Teil II). Die Erwärmung an der Leiteroberfläche ist abhängig von einer Reihe von Faktoren, u.a.:

- der Legetiefe,
- der Kabelisolierung,
- der Bettung des Kabels,
- der Anordnung der Kabel,
- dem Kabelabstand untereinander,
- der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs,
- ergänzender Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen
- sowie vor allem der tatsächlichen Kabelauslastung (FORWIND 2005, S. 18).

Da eine ins Erdreich abfließende Verlustwärme stets auch einen wirtschaftlichen Verlust darstellt, ist es sowohl im ökologischen wie im ökonomischen Interesse, die Wärmeentwicklung im Kabel und seiner Umgebung gering zu halten. Die Kabelauslegung wird sich u.a. auch daran orientieren, einen dauerhaften wirtschaftlichen Verlust durch unnötige Abwärme auszuschließen. Aufgrund der üblichen n-1 Auslegung werden Erdkabel im Normalbetrieb lediglich mit einem Teil des Nennstroms ausgelastet, so dass die Temperaturerhöhung in 30 cm Tiefe BRAKELMANN (2010) zufolge 2-3 K nicht überschreitet. Der Richtwert von 2-3 K in 30 cm Tiefe als maximale Erwärmung war für Offshore-Windparks anschließende

Seekabel entwickelt worden, die insbesondere im Wattenmeer keine Beeinträchtigungen für die Meeresfauna entfalten sollten.

BRAKELMANN (2004, S. 46) zufolge wird bei den bisher verlegten Hochspannungskabeln die direkte Umgebung eines Kabels im Normalbetrieb bis zu einem Abstand von ca. 30 bis 50 cm nennenswert erwärmt, wobei die Erwärmung des Bodens mit zunehmendem Abstand vom Kabel abnimmt und spätestens ab einer Entfernung von ± 3 m vom Kabelgraben aus nicht mehr messbar ist. Über ein Glasfaserkabel, welches BRAKELMANN (2010) zufolge bei Höchstspannungskabeln heute standardmäßig eingearbeitet wird, kann das Maß der Verlustwärme mit einem intelligenten Monitoring überwacht werden (vgl. auch Berichtsteil Technik, Teil II).

Die Bodenbeschaffenheit bzw. der Bodentyp spielt bei den Auswirkungen der Verlustwärme eine zentrale Rolle. So transportieren trockenere Böden die Wärme schlechter als feuchte Böden, wodurch es bei trockenen Böden zu einer Erhöhung des Temperaturgradienten und dementsprechend auch zu einem Anstieg der Kabeltemperatur kommt (vgl. GEO et al. 2009, S. 97). Gute kapillare Eigenschaften eines Bodens begünstigen die Wasserhaltefähigkeit. So liegt laut Berichtsteil Technik, Teil II, Abschn. 3.3.3 die Grenzisotheime von Lehm bspw. bei 50°, die von Sand jedoch nur bei 30°. Ein ohne Bettungsmaterial verlegtes Kabel trocknet einen Normalboden, für den üblicherweise ein Wärmeleitwert von 1 W/mK angesetzt wird, innerhalb der ersten Wochen bis Monate in der direkten Kabelumgebung dauerhaft aus, so dass dieser Boden seine Kapillarität verliert und danach einen Wärmeleitwert von 0,5 W/mK auf Dauer hält (BRAKELMANN mdl. 2011). Mit Hilfe der Bemessung des Magerbeton-Bettungsmaterials kann die Wärmeableitung standortbezogen in großen Spannen optimiert werden.

Mit Blick auf die durch krautige Vegetation durchwurzelte oberste Bodenschicht sind mögliche Temperaturveränderungen insbesondere in den oberen 50 cm unter EOK beurteilungsrelevant. Im groben Schnitt der Bodentypen und im langjährigen Mittel schwankt die natürliche Temperatur in 50 cm Tiefe in Deutschland (Potsdam) zwischen 0° C und 19° C, wobei sie den Monatsmittelwerten träge folgt. Die Tagesamplitude schwankt meist nur um 2 bis 3 K.

JARASS et. al. (1996, S. 20) zufolge kann die Bodenerwärmung, ausgelöst durch den Betrieb von Erdkabeln, als Umweltfaktor vernachlässigt werden, weil sie um mehr als eine Größenordnung unter dem Effekt der natürlichen Globalstrahlung liege. Nur wenn das Kabel über eine längere Zeit unter Höchstlast genutzt werde, können Erwärmung und auch Austrocknung des Bodens GEO et al. (2009, S. 96 u. 104) zufolge kleinräumig bzw. vorübergehend graduell zu Veränderungen führen. Diese Quellen beziehen sich allerdings v.a. auf die bislang üblichen Erdverkabelungen im Nieder- bis Mittelspannungsbereich. Für die bisher wenig erprobten Erdkabel auf der Höchstspannungsebene wird es maßgeblich von deren techni-

scher Auslegung abhängen, ob es zu nennenswerten Bodenveränderungen kommen kann. U_{THER} et al. (2009) betonen zu Recht, dass mit dem Boden ein komplexes System physikalischer Parameter betroffen ist, dessen standörtlich unterschiedliche Reaktionen schwer vorher zu bestimmen sind (U_{THER} et al. 2009, S. 6).

Eine moderate Temperaturerhöhung im Boden beschleunigt im Allgemeinen die Aktivität mikrobieller Bodenorganismen und damit insbesondere Zersetzungs Vorgänge. Eine Temperaturerhöhung um 10° aber steigert die biochemischen Prozesse im Boden bereits um das 2-3fache. Solche Temperaturverschiebungen könnten in Abhängigkeit der standörtlichen Bodenverhältnisse nicht mehr zu puffern sein und würden ggf. die Bodeneigenschaften dauerhaft verändern. In Ermangelung wissenschaftlich fundierter Richtwerte für die maximal tragbare Erwärmung in terrestrischen Böden gehen wir im Folgenden von einem Daumenwert von maximal 5 K in 50 cm unter EOK aus. Dieser Wert entspricht in etwa der doppelten Tagesamplitude in dieser Bodentiefe und berücksichtigt somit Pufferkapazitäten.

Maßgeblich für das Risiko des Auftretens von Situationen mit einer starken Bodenerwärmung ist die technische Auslegung des jeweiligen Höchstspannungskabels. In der Planung empfiehlt sich, insbesondere bei einem Bestand schlecht wärmeableitender Böden, frühzeitig auch seltene Ausnahmesituationen mit einer über eine lange Zeit andauernden, deutlich erhöhten Wärmeemission zu berücksichtigen. Es ist für die Ermittlung der möglichen Umweltkonsequenzen wesentlich zu wissen, wie häufig höhere Wärmeemissionen an den jeweiligen Hot Spots mit hohen thermischen Widerständen auftreten können, wie zuverlässig Vorsorge- und Vermeidungsmaßnahmen greifen sowie in welcher Dauer und in welcher Ausdehnung mit Temperaturveränderungen gerechnet werden kann.

2.4.9 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

2.4.9.1 Bodenvermischung

Einfach aufgebaute Bodentypen, bei denen nur ein oder zwei Bodenhorizonte berührt werden, lassen sich durch eine saubere Trennung von Ober- und Unterboden während der Entnahme, der Lagerung und dem Wiedereinbau weitgehend mit der ursprünglichen Schichtung wieder herstellen (vgl. DIN 18915 - Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten). Allerdings ist in jedem Fall das gewachsene Profil gestört. Komplizierter aufgebaute Böden brauchen lange Zeiträume der Bodenentwicklung, um zu regenerieren - in seltenen Fällen werden Bodenfunktionen irreversibel geschädigt. Bei gegenüber Strukturschäden besonders empfindlichen Böden sollte ein Oberbodenabtrag nach Möglichkeit - z.B. durch Dükerung - vermieden werden, da die Grasnabe bzw. die Humusaufgabe eine stabilisierende Wirkung hat (IBNI et al. 2008).

2.4.9.2 Bodenverdichtung

Bodenverdichtung lässt sich durch diverse technische Vorkehrungen hinsichtlich der Bau- und Transportfahrzeuge vermeiden. Die Radlast der Bau- und Transportfahrzeuge kann durch Mehrachsen und bodenschonende Fahrwerke reduziert werden. Generell sollte (u.a. zur Vermeidung von Bodenschlupf) auf eine bodenschonende Kraftübertragung, bspw. durch Allradantrieb, zapfwellengetriebene statt gezogener Geräte und Aufsattel- und Anbaugeräte, geachtet werden (BMELF 1999). Ein hoher Reifendruck bspw. bewirkt ein tieferes Eindringen der Druckzwiesel der Auflast in das Bodengefüge, als dies bei einem verringerten Reifendruck der Fall ist. Bau- und Transportfahrzeuge mit einem verringerten Reifendruck und mit möglichst breiten Reifen empfehlen sich daher in verdichtungsgefährdeten Bereichen. Auch Gitterräder, Zwillingsreifen, Breit- und Terrareifen sowie Bandlaufwerke mindern den Kontaktflächendruck. Grundsätzlich sind die Bauarbeiten zeitlich so zu planen, dass die Böden nur in ausreichend trockenem Zustand befahren werden.

Soweit möglich sind vorhandene Verkehrswege zu nutzen, ansonsten ist die Anlage von Baustraßen notwendig, um den Lastendruck zu verteilen. Die Norm DIN 4124 „Baugruben und Gräben, Böschungen – Verbau – Arbeitsraumbreiten“ fordert einen Straßenoberbau von 15 cm Dicke, der z.B. aus Schotter oder aus aufbereitetem Bauschutt hergestellt werden kann, weil einfach eingebaut, wieder entfernt und ggf. mehrmals verwendet werden kann (Auskunft RATHKE 15.11.10). In Dänemark ist es offenbar üblich, empfindliche Böden auch bei großen Baustellen durch Baustraßen aus mobilen Stahlplatten herzustellen (GEO et al. 2009, S. 87). Es ist jedoch fraglich, ob dies in Deutschland mit o.g. Norm vereinbar ist. In stark beanspruchten Bereichen kann es auch vorteilhaft sein, Baustraßen aus geotextilen Matten gemäß DIN 18915 herzustellen. In Verbindung mit einer korngestuftem Sand-Kiesauflage oder vergleichbarer Technik kann irreversiblen Struktur-schäden vorgebeugt werden (IBNI et al. 2008, S. 55 ff.). Auch diese Baustraßen sind nach Beendigung der Bauarbeiten vollständig entfernbar. Im Bereich besonders hochwertiger Strukturen und morphogenetischer Besonderheiten ist eine möglichst weitgehende Verschmälerung des Arbeitsstreifens zu erwägen.

Unbeabsichtigt verdichteter Oberboden kann nach Beendigung der Baumaßnahme ggf. durch Tiefenlockerung seine Funktionsfähigkeit weitgehend wiedererlangen (vgl. ERM 6-4.6). Doch sollte IBNI et al. (2008) zufolge die Tiefenlockerung im Bereich des Arbeitsstreifens vor Wiederaufbringung der oberen Bodenschicht auf ein notwendiges Maß beschränkt werden. Auch durch Zwischenfruchtanbau ist eine biologische Lockerung und Stabilisierung des Bodens denkbar.

2.4.9.3 Bodenwasserhaushalt

Wasserstauende Schichten, die vom Kabelgraben ggf. durchbrochen werden, können durch quellfähige Tone wie etwa Betonit wieder vollständig abgedichtet werden. Auf diese Weise sind Beeinträchtigungen des Bodenwasserhaushalts vermeidbar (GEO et al. 2009). Zum Beispiel an (Nieder-) Moorstandorten kann so die Funktionsbeeinträchtigung durch Entwässerung gering gehalten werden. Auch durch zeitlich gestraffte Baumaßnahmen und eine rasche Wiederbefüllung des Grabens können Beeinträchtigungen minimiert werden (IBNI et. al. 2008, S. 55 ff.).

2.4.9.4 Bodenerwärmung

Eine Verminderung der Bodenerwärmung ist durch unterschiedliche Maßnahmen möglich, die im Wesentlichen im technischen Berichtsteil, Teil II, abgehandelt werden. In erster Linie verringert die Wahl eines angemessenen Leitermaterials und eines großen Leiterquerschnitts Verlustwärme. Über die Bemessung des Bettungsmaterials kann darüber hinaus die Wärmeabgabe standortbezogen ausgeregelt werden. Auch eine Verlegung des Kabels in größerer Tiefe kann einer Erwärmung des belebten Oberbodens vorbeugen. Bei einer streckenweise getunnelten Verlegung kann aktiv belüftet werden. Falls erforderlich, kann die Bodenerwärmung auch durch externe Kühlung vermindert werden, die bspw. für den (n-1)-Fall vorgehalten wird. Aufwendige Maßnahmen bleiben i. Allg. aufgrund der hohen Kosten auf die Hot Spots der Wärmeentwicklung beschränkt.

2.5 Auswirkungen von Erdkabeln auf Gewässer

2.5.1 Auswirkungen von Erdkabel auf das Grundwasser

Im Zuge von Erdkabelverlegungen sind mögliche baubedingte Auswirkungen auf das Grundwasser, d.h. auf ganzjährig vorhandene, durch Niederschlag gespeiste Wasservorkommen, zu beachten (NLT 2009, S. 12, SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2010, S. 220, GOUDIE 2002, S. 368). Maßgebend sind die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes und des jeweiligen Landeswassergesetzes. Beeinträchtigungen des Grundwassers sind insbesondere in folgenden Situationen denkbar (vgl. Abschn. 2.3.2.4):

- Bei Feuchtgebieten mit hoch anstehendem Grundwasser wie z.B. Niedermooren, die für die Zeit der Kabelverlegung eine aktiv herbeigeführte Grundwasserabsenkung erfordern und entwässert werden könnten (vgl. GEO et al. 2009, S. 41; ECOFYS 2008, S. 97).

- Bei gespannten Grundwasserleitern, die im Laufe der Bauphase - bei unzureichendem Verschluss auch dauerhaft - über das Längsgefälle des Grabenverlaufs entwässern könnten (vgl. ForWind 2005, S. 29). Mineralisierung und Sackung, z.B. von Moorböden, sowie Versauerung und Maiboltbildung könnten folgen.
- Bei der (Teil-)Rückverschließung von Kabelgräben mit allochthonem Material, welches den natürlichen Fluss des Grundwassers sowie die Grundwasserneubildung hemmt und insbesondere in der Nähe von Quellen oder Feuchtflächen zu Austrocknung führen kann (ECOFYS 2008, S. 98).

Irreversible Schädigungen durch Erdkabelverlegung lassen sich im Bereich des Grundwassers aufgrund der geringen Dauer der Baumaßnahmen im Allg. ausschließen (vgl. u.a. GEO et al. 2009, 92; IBNI 2008, S. 78). Auch eine Wasserkontamination durch Schadstoffe kann bei sachgemäßer Ausführung vermieden werden, da die derzeitigen Kabeltypen dahingehend unbedenklich sind (vgl. JARASS et al. 1996, S. 21).

Für die Reichweite der Grundwasserabsenkung ist der Durchlässigkeitsbeiwert (m/s) des Bodens ein entscheidender Faktor (vgl. Tabelle 11). Bei tonreichen Marschböden wirkt sich GEO et al. (2009 S. 91) zufolge selbst eine 1 m tiefe Grundwasserabsenkung nur rd. 6 m in angrenzende Flächen aus. In naturnahen Moorböden mit schwach zersetzten Torfen sind dagegen Reichweiten von annähernd 20 m möglich.

Tabelle 11: Durchlässigkeitsbeiwerte wassergesättigter Böden (aus GEO et al. 2009 S. 91 u. Ad Hoc Arbeitsgruppe Boden 1994)

Bodenhorizont	Kf [m/s] (gerundet)	Durchlässigkeit
Sd-Horizonte, Knickhorizonte	< 10 ⁻⁷	sehr gering
Sd-Übergangshorizonte, Sg-Horizonte, weniger ausgeprägte Knick- und Dwogmarsch-Horizonte, stark zersetzte Torfe	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	gering
schluffreiche tonarme Schichten, mittel zersetzte Torfe	10 ⁻⁶ - 5 · 10 ⁻⁶	mittel
Horizonte mit guter Gefügeentwicklung, fein- bis mittelkörnige Sande, mittel bis schwach zersetzte Torfe	5 · 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵	hoch
Horizonte mit sehr guter Gefügeentwicklung, mittelkörnige Sande, schwach zersetzte Torfe	10 ⁻⁵ - 4 · 10 ⁻⁵	sehr hoch
schilfdurchwurzelte Tone, Grobsande, Kiese, sehr schwach zersetzte Torfe	>4 · 10 ⁻⁵	äußerst hoch

2.5.2 Auswirkungen durch Erdkabel auf Oberflächengewässer

Mögliche Auswirkungen von Erdkabelverlegungen auf Oberflächengewässer sind vor allem beim Queren von Gewässern denkbar. Eine indirekte Entwässerung von

Oberflächengewässern ist durch die bereits oben angesprochenen Wasserhaltungsmaßnahmen an Standorten mit hoch anstehendem Grundwasser möglich.

Falls eine Kabeltrasse ein Oberflächengewässer queren soll, wird das Kabel in der Regel mithilfe eines Horizontal-Bohrverfahrens (HDD-Bohrung) oder eines Pressrohrverfahrens unter dem Gewässer verlegt bzw. unterdükert (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.5). Bei solchen Dükerungen, die beim Unterqueren von Gewässern zumeist sowohl aus baugrundtechnischen, als auch aus ökologischen Erwägungen erforderlich sind, können hydraulische Verbindungen in Folge der Durchtrennung von wasserundurchlässigen Schichten entstehen (vgl. GEO et al. 2009, S. 89 ff.). Falls wasserundurchlässige Schichten durchstoßen werden, müssen die hydraulischen Verbindungen mit quellfähigen Tonen, wie bspw. Bentoniten, nach Abschluss der Bohrung wieder verschlossen werden.

Eine Alternative zur Dükerung ist bei der Querung von kleineren Fließ- und Stillgewässern die offene Bauweise mit Einstauung. Dabei wird das Wasser über eine Pumpe um die Baustelle herum geleitet (vgl. GEO et al. 2009, S. 42). Während der Bauphase ist mit einer verstärkten Trübung des Gewässers sowie einem erhöhten Nähr- und Schadstoffeintrag aus Rücklösungen zu rechnen. Je nach Fließgeschwindigkeit baut sich diese Trübung mehr oder weniger rasch ab. Naturnahe Fließgewässer sind gegenüber Trübungen empfindlicher als ausgebaute Gewässer. Bei sehr strukturreichen Ufern ist bei einer offenen Bauweise eine darüber hinaus vorübergehende Beeinträchtigung der Uferrandstruktur zu erwarten (vgl. IBNI 2008, S. 80). Als weitere Auswirkungen werden von ECOFYS (2008, S. 98) mögliche signifikante Beeinträchtigungen von wandernden Fischen und aquatisch lebenden Säugern beschrieben.

Für weite Unterwasserstrecken auf Meeresboden sind spezielle, jedoch erprobte Kabelverlegungsverfahren (bspw. Einpflügung) unvermeidlich. Diese Verfahren haben über die Aufwirbelung von Sedimenten und dabei ggf. Remobilisierung von Nähr- und Schadstoffen zumeist sehr temporäre Auswirkungen auf die Wasserqualität.

2.5.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

2.5.3.1 Grundwasser

IBNI et al. (2008, S. 81 ff.) empfehlen in Gebieten mit hoch oder sehr hoch empfindlichem Grundwasser angepasste Vorsorgemaßnahmen, um einer Grundwasserkontamination vorzubeugen. Im Falle unvermeidlicher Wasserhaltungsmaßnahmen sollte die Dauer der Verlegung eines Erdkabels so gering wie möglich gehalten werden (IBNI et al. 2008, S. 81). GEO et al. (2009, S. 92) empfehlen im Einzelfall die Einrichtung von Negativbrunnen, in welchen das abgepumpte Wasser

nicht weit vom Entnahmeort entfernt wieder in den Boden gepumpt wird, um so einer Absenkung des Grundwasserspiegels an empfindlichen Nachbarstandorten entgegenzuwirken.

2.5.3.2 Oberflächengewässer

Bei der Querung von Oberflächengewässern empfehlen IBNI et al. (2008, S. 81 ff.) eine grabenlose Unterquerung des Gewässers. Ist dies nicht möglich und wird während der Bauzeit Wasser abgepumpt, so ist es grundsätzlich vor Wiedereinleitung in das Gewässer zu reinigen und mit einer angemessenen Fließgeschwindigkeit zurückzuführen. Durch eine Einschränkung des Arbeitsstreifens lassen sich Schädigungen der Uferstruktur in jedem Fall vermeiden.

2.6 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf das Orts- und Landschaftsbild

2.6.1 Auswirkungen während der Bauphase

Der Baustellenbetrieb ist für die Dauer der Bauphase aufgrund von Geräusch- und Abgasemissionen, visueller Unruhe und Baubeleuchtung eine Störquelle, die sich auf den Zufahrtsstraßen sowie in der Umgebung der Baustandorte negativ auf das Landschaftserleben auswirkt. Da entlang der gesamten Trasse Baustraßen angelegt werden müssen, ergeben sich auch seitlich der Verlegetrasse Vegetationsschäden, die über die Dauer der Bauphase hinaus fortbestehen können.

Auf den benötigten Arbeitsflächen wird Vegetation unvermeidlich beschädigt und entfernt. Vor allem in Waldgebieten wirkt sich der Verlust landschaftsprägender Gehölzstrukturen auf das Landschaftsbild aus (vgl. MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS MECKLENBURG-VORPOMMERN 2008). Aktuellen Planungen bei Tennet zufolge (Schomburg mdl. 19.10.2011) ist in der Bauphase bei 4 Systemen für Kabelgraben, Erdaushub und Baustraße je nach Verlegungsart mit einer Trassenbreite von 21 m Breite zu rechnen (im Betrieb 7,60 m bzw. 12 m – 18 m mit Schutzstreifen; vgl. Berichtsteil Technik, Teil I. Abschn. 1.4.5.2).

2.6.2 Auswirkungen durch Anlage und Betrieb

2.6.2.1 Trasse und Nebenanlagen

Nach Abschluss der Bauarbeiten werden die Baustelleneinrichtungen entfernt und die Baustreifen wieder begrünt. Da im direkten Trassenbereich keine tiefwurzelnenden Gehölze gepflanzt werden dürfen, verbleibt in Gebüsch und Wäldern jeweils eine Schneise von 12 m bis 25 m Breite. Im Offenland ist die Trasse ein Jahr nach Fertigstellung nicht mehr zu erkennen. Allenfalls in Abständen gesetzte

Markierungspfähle warnen vor unbeabsichtigter Beschädigung des Kabels bei Bauarbeiten bspw. im Straßenbau.

Als Nebenbauwerke sind ggf. Muffenbauwerke, Tunnelbauwerke, Umrichterstationen und Kabelübergangsanlagen (Freileitung-Kabel) zu beachten. Landschaftsbildrelevant sind v. a. Kabelübergangsanlagen, die üblicherweise als etwa 27 m hohe Stahlkonstruktionen ausgelegt sind, wobei für ein System eine umzäunte Fläche mindestens der Maße 20 m x 70 m benötigt werden (Auskunft GÖRNER, ABB AG 8.2.11).

Aufgrund der unterirdischen Lage wird das Orts- und Landschaftsbild durch Anlage und Betrieb des Kabels selbst i. Allg. nicht nennenswert beeinträchtigt.

2.6.2.2 Ermittlung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen

Im Unterschied zu Freileitungen, für die es eine recht spezialisierte Methodik zur Ermittlung "mastenartiger Eingriffe" in das Landschaftsbild gibt, richtet sich die Landschaftsbildanalyse bei Erdkabeln nach allgemeinen Kriterien der landschaftsplanerischen Praxis, die im Folgenden kurz dargestellt werden. Im Rahmen der Landschaftsbildanalyse und Landschaftsbewertung sind vorrangig Informationsgrundlagen zusammenzutragen und zu erstellen, die eine möglichst realitätsnahe Abschätzung der zu erwartenden visuellen Wirkungen eines Vorhabens ermöglichen. Eine Vielzahl von unterschiedlichen Methoden zur Bewertung des Landschaftsbildes wird in Leitfäden und Fachgutachten beschrieben (u.a. GAREIS-GRAHMANN 1993, NOHL 1993, KLÖPPEL u. KRAUSE 1996, KÖHLER u. PREIB 2000). Über die Abschätzung möglicher Landschaftsbildbeeinträchtigungen hinaus soll jeweils geklärt werden, ob und wenn ja, wie, unvermeidliche Landschaftsbildbeeinträchtigungen minimiert, ausgeglichen oder ersetzt werden können. Die Untersuchung von Landschaftsaspekten ist eine rechtlich vorgeschriebene Standardanforderung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Darüber hinaus führt das Naturschutzrecht des Bundes und der Länder „die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft“ als Schutzziel auf, wobei das Landschaftsbild in besonderem Maße als Voraussetzung für die Erholung des Menschen in Natur und Landschaft nachhaltig zu sichern ist. Das heutige Verständnis von Landschaftsbild beschränkt sich nicht allein auf visuell wahrnehmbare Einheiten der Landschaft, sondern umfasst ein darüber hinausgehendes, mit allen zur Verfügung stehenden Sinnesqualitäten verknüpftes Landschaftserleben (GASSNER 1995 S. 37; LOUIS 2000, S. 112).

Angesichts schwer objektivierbarer Kriterien wie „Schönheit“ und „Eigenart“ erfolgen Bewertungen weitestgehend anhand qualitativer Maßstäbe und in grober Skalierung. Qualitativ bestimmt sich insbesondere das Maß der Erheblichkeit, mit dem das Landschaftsbild beeinträchtigt wird. Quantitative Aspekte betreffen v.a.

den Flächenumfang des Einwirkungsbereichs sowie die vertikalen und horizontalen Winkel, in denen der Eingriff von bestimmten Standorten aus wahrnehmbar ist. Die Empfindlichkeit des Landschaftsbilds gegenüber störenden Eingriffen bestimmt sich aus ihrer Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie aus ihrer Einsehbarkeit und Naturschutzwürdigkeit.

Rechtsprechung und Rechtskommentare geben grundsätzliche Hilfestellungen, in welcher Weise die einschlägigen, sehr auslegbaren Begriffe des Naturschutzrechts wie "Vielfalt", "Schönheit" und "Eigenart" zu interpretieren sind, so dass die erwartete Fachbeurteilung trotz aller unvermeidbaren Subjektivität nicht der Beliebigkeit anheimfällt. Die in einer Landschaftsbildanalyse erwartete Einschätzung der „Schönheit von Natur und Landschaft“ ist durch die Rechtsprechung insoweit eingegrenzt worden, als „auf das Urteil eines für die Schönheiten der natürlich gewachsenen Landschaft aufgeschlossenen Durchschnittsbetrachters“ abgestellt wird (BVerwG NuR, 1991 S. 124,127). Diese Durchschnittsbetrachtermeinung wird i. Allg. von entsprechend ausgebildeten Landschaftsplanern auf der Basis anerkannter Methoden nachvollzogen. Aufgrund vielfacher Auseinandersetzungen um die Akzeptanz landschaftsbildwirksamer Großvorhaben werden diese professionellen ästhetischen Bewertungen zunehmend auch durch Meinungsbilder aus Vor-Ort-Befragungen gestützt. Zweifellos kommt solchen Fachurteilen eine erhöhte Rechtssicherheit zu (vgl. ROTH und GRUEHN 2010).

Im Vergleich zu Freileitungstrassen werden Erdkabeltrassen aufgrund ihrer deutlich geringeren Sichtbarkeit im Allg. als landschaftsverträglicher eingeschätzt. So werden Erdkabel verschiedentlich zum Ersatz bestehender Freileitungen in Regionen mit hoch empfindlichen Landschaftsbildern vorgeschlagen. In Dänemark z.B. wurde im Frühjahr 2008 auf den Rat eines "Electricity Infrastructure Committee", welches mit Vertretern der Regierung und der Elektrizitätsversorger besetzt ist, eine weitreichende Verkabelung des 400 kV-Netzes in sechs Regionen mit sehr hoher Landschaftsbildrelevanz beschlossen. Hierzu gehören verschiedene Küstenlandschaften, Endmoränenlandschaften und eiszeitliche Tallandschaften. Vergleichbare Landschaften sind in Deutschland u.a. als National- und Naturparke geschützt.

2.6.3 Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen

Die Beeinträchtigungen des Baubetriebs einer Kabelverlegung auf das Landschaftsbild sind weitgehend temporär und in den meisten Fällen von geringer Bedeutung für die Zulässigkeit des Vorhabens.

Dauerhaft verbleiben Schneisen in Gehölzen und vereinzelte Nebenbauwerke, die ggf. das Landschaftsbild beeinträchtigen können. Die in der Bauphase entstandenen Schneisen sind jedoch deutlich schmaler als etwa bei Freileitungen. Ihre Wir-

kung auf das Landschaftsbild lässt sich durch Trassenmanagementmaßnahmen und durch die Anlage einer Waldrandbepflanzung entschärfen. In den seltensten Fällen wird es aus Gründen des Landschaftsbildes erforderlich sein, ein Erdkabel auf einer begrenzten Strecke durch ein aufwendiges Schutzrohr oder einen kostenaufwendigen, mit Ortsbeton hergestellten Tunnel, den sog. "*Infrastruktur-tunnel*", zu führen (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.4.5.3).

Eine ggf. störende Wirkung von Nebenbauwerken kann durch Abpflanzungen an der Anlage selbst sowie bspw. an Straßen mit Blickachse auf die Anlage herabgesetzt werden. Als Alternative zu einer ggf. landschaftsbildbeeinträchtigenden Wirkung konventioneller Kabelübergangsanlagen wurden in einem Ideenwettbewerb der dänischen Regierung darüber hinaus zahlreiche künstlerische Designvorschläge entwickelt, die bis hin zur Absenkung des Terrains um die Anlagen herum und zur Teilverlegung der Anlage unter die Erde reichen (vgl. MILJÖMINISTERIET 2010).

2.7 Auswirkungen von Erdkabeltrassen auf Kultur- und Sachgüter

2.7.1 Auswirkungen während der Bauphase

Mit den Bauarbeiten für die Kabeltrasse kommt es zu ausgedehnten Tiefbaumaßnahmen. Dabei können Kulturdenkmäler in Form archäologischer Fundstellen, z.B. Grabhügel, gefährdet sein. Durch eine archäologische Prospektion im Bereich der Feintrasse bereits im Vorfeld des Bauvorhabens lassen sich Verluste und Beeinträchtigungen von bekannten und bisher nicht bekannten Kulturdenkmälern vermeiden.

2.7.2 Auswirkungen durch Anlage und Betrieb

Durch Anlage und Betrieb eines Erdkabels sind Beeinträchtigungen von Kultur- und Sachgütern i. Allg. nicht zu erwarten.

2.7.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Durch eine baubegleitende Untersuchung lässt sich im seltenen Fall einer bei den Grabungen entdeckten bodendenkmalpflegerischen Betroffenheit das Ausmaß der etwaig anschließenden Bergungs- und Dokumentationsmaßnahmen abschätzen (IBNI et al. 2008, S. 278). Beim Auffinden von Bodenfunden sind die Bestimmungen der Denkmalschutzgesetze der Länder zu beachten (ERM 2010).

2.8 Auswirkungen von Erdkabel auf die Luft und das Klima

2.8.1 Auswirkungen während der Bauphase

Im Baubetrieb werden von den Fahrzeugen in geringem Umfang Schadstoffe und Abgase an die Luft abgegeben (vgl. u.a. GEO 2009, S. 88). Bei trockener Witterung kann es aufgrund der umfangreichen Erdarbeiten zu Staubaufwirbelung, Staubverdriftung und Ablagerungen kommen. Dadurch ergeben sich in der Regel allerdings keine erheblichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter Luft und Klima.

2.8.2 Auswirkungen durch Anlage und Betrieb

Die Auswirkungen von Erdkabeln auf die Schutzgüter Luft und Klima sind in der Betriebsphase i. Allg. gering. Ortsweise wird das Kleinklima durch Minimierung der Waldfläche und Schneisenbildung kleinklimatisch verändert. Im Einzelfall können das Waldinnenklima oder durch neue Kaltluftabflüsse auch Siedlungslagen beeinträchtigt sein. Denkbar ist auch eine Beeinträchtigung durch erhöhte Sonnen- und Windeinwirkungen an den Schneisenrändern (MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS MECKLENBURG-VORPOMMERN 2008). Bei erheblicher Wärmeabgabe des Kabels könnte es auf der Trasse zu kleinklimatischen Verschiebungen mit intensivierter, bei Austrocknung auch reduzierter Vegetationstätigkeit kommen.

2.8.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Grundsätzlich können Beeinträchtigungen des Schutzgutes Klima / Luft durch die Optimierung von Arbeits- und Bauabläufen zur Reduzierung von Verunreinigungen minimiert werden (IBNI et al. 2008, S. 231).

2.9 Wechselwirkungen

2.9.1 Wechselwirkungen durch Bündelung von Vorhaben

Die Berücksichtigung von Wechselwirkungen ist gemäß UVPG Pflichtaufgabe einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Zwischen Naturgütern bestehen regelmäßig Wechselwirkungen, so dass auch Beeinträchtigungen einzelner Naturgüter durch Wirkungsverlagerungen und Sekundärwirkungen als Störung des Gesamtgefüges begriffen werden können. Vorliegende Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zeigen bei Kabel- und bei Rohrleitungsvorhaben, dass Sekundärwirkungen offenbar nicht die Qualität einer erheblichen Beeinträchtigung erreichen (IBNI 2008, S.285, IBU 2007, S. 369 ff.). In jedem Fall sind diese Fragestellungen sehr einzelfallspezifisch.

Über Sekundärwirkungen hinaus, die über die ökologische Vernetzung der einzelnen Naturgüter transportiert werden, können Wechselwirkungen auch in Verbindung mit den Umweltauswirkungen anderer Bauten und Bauvorhaben auftreten. Die unterschiedlichen Umweltauswirkungen können sich dabei im Einzelfall addieren, potenzieren oder kompensieren und sogar aufheben.

2.9.2 Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen während der Bauphase

Durch die Verlegung eines Kabels entlang einer Straße oder eines Schienenweges kann auf diesen Strecken auf die Herstellung einer Baustraße und damit auf wesentliche Bauwirkungen verzichtet werden. Die Umweltauswirkungen der Bauphase treffen auf durch die Verkehrsstrecke deutlich vorbelastete Bereiche und sind daher gegenüber einer isolierten Trasse reduziert.

Häufige negative Wechselwirkungen werden während der Bauphase v.a. durch unabsichtliche Beschädigungen dicht benachbarter Anlagen erzeugt. Die häufigsten Ausfallursachen bei Kabelanlagen sind z.B. versehentliche Beschädigungen bei Baumaßnahmen (BRAKELMANN 2010 mdl.).

2.9.3 Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen durch Anlage und Betrieb

Die Bündelung von Kabeltrassen mit anderen linienhaften Infrastrukturen kann hinsichtlich der bei Anlage und Betrieb verursachten Umweltauswirkungen insgesamt erhebliche Wirkungsreduktionen erzielen (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.5.3). Dabei werden bestehende Umwelt-Vorbelastungen genutzt und landschaftliche Freiräume geschont. Reduktionen können gleichermaßen für Wirkungen auf den Boden und das Grundwasser, auf Arten und Biotope sowie auf das Landschaftsbild erreicht werden. In besonderem Maße können diese Effekte bei dem zeitgleichen Bau von Erdkabeln mit Infrastrukturprojekten genutzt werden (vgl. BOSCH & PARTNER et al. 2009). Zur Bündelung eignen sich insbesondere linienhafte Infrastrukturtrassen mit erheblichen Umweltvorbelastungen wie:

- Bundesstraßen (20 m Abstand erforderlich),
- Bundesautobahnen (40 m Abstand erforderlich)
- Schienenwege von Eisenbahnen
- Gasversorgungsleitungen
- Rohrleitungsanlagen zum Befördern von Wasser.

Negative Wechselwirkungen bei der gebündelten Verlegung von Erdkabeln mit anderen linienhaften Infrastrukturtrassen sind insbesondere an folgenden Punkten denkbar:

- die kumulative thermische Belastung des Erdbodens kann durch das Zusammenwirken verschiedener linienhafter Infrastrukturtrassen zur Strukturveränderung des Erdbodens führen,
- Magnetfelder können Induktionsspannungen und damit Korrosionen in sehr nahe gelegenen metallischen Anlagen verursachen (ggf. durch Potenzialsteuerung bzw. Erdung vermeidbar). Die Störaussendung magnetischer Felder durch Erdkabelanlagen steht in Abhängigkeit von Übertragungsleistung, Verlegetiefe und Verlegeabstand der betroffenen technischen Einrichtungen.
- Die kumulative Belastung aufgrund unterschiedlicher Beeinträchtigungsfaktoren kann für benachbarte Nutzungen, bspw. Wohnnutzung, ein zumutbares Maß überschreiten.

3 Umweltauswirkungen von Freileitungen

3.1 Auswirkungen von Freileitungen auf Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)

Der folgende Abschnitt beschränkt sich auf die zentralen Diskussionsbereiche, elektrische und magnetische Felder, Koronaentladungen und Unfälle als Teil der Auswirkungen durch Anlage und Betrieb von Freileitungen. Bau-Nebenaspekte wie etwa beeinträchtigende Schallimmissionen von Baufahrzeugen auf die Wohn- und Erholungsqualität bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt (vgl. z.B. GEO et al. 2009, S. 88).

Unter anderem haben BRAKELMANN (2004), das BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN 2002), das SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL 2005), das ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT (ERM 2008), die FBG FREILEITUNGSBAU GMBH (2008), die NIEDERSÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (2007), die STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (SSK 2001, 2004, 2008), OBERFELD (2006), (SILNY ET AL. 2001 - 2010) sowie die INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (2010) jeweils synoptisch über die Auswirkungen von Freileitungen auf den Menschen berichtet.

3.1.1 Beeinträchtigungen durch elektrische und magnetische Felder

3.1.1.1 Übersicht

Hochspannungsleitungen in Form von Freileitungen sind eine Quelle niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder (vgl. LUA 2004, S. 2, ERM 2008, S. 6.1-26). Die elektrischen und magnetischen Feldstärken in der Nähe von Freileitungen sind von der Spannungsebene, der Mastform und Anordnung, der Anzahl und dem Durchhang der Leiterseile sowie der Spannung bzw. Stromstärke abhängig (vgl. Berichtsteil Technik, Teil III).

Die möglichen Beeinträchtigungen durch elektrische und magnetische Felder insbesondere von Freileitungen werden in Wissenschaft und Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Die weltweit sehr unterschiedlichen Grenzwerte, Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern, die als Vorarbeit zu dieser Studie vom ECOLOG-Institut, Hannover, zusammengestellt wurden (Tabelle 1 in Anhang 1), sind ein beredter Ausdruck einer noch offenen und intensiv geführten Fachdiskussion (vgl. NEITZKE u. OBERHOFF 2010).

Die gesetzlichen Grenzwerte zum Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern sowie ein Überblick zur Diskussion der wissenschaftlich

nachgewiesenen Schwellen für Gesundheitsschäden durch die von den Feldern erzeugten Körperströme wurden bereits in Abschn. 2.1 vorgestellt.

Zusammenfassend sei erwähnt, dass die Strahlenschutzkommission (SSK), deren Empfehlungen (2001 u. 2009) als richtungsweisend und orientierend gelten, die in Deutschland geltenden Grenzwerte nach der 26. BImSchV wiederholt bestätigt hat, jedoch vor dem Hintergrund möglicher, ggf. noch nicht nachgewiesener Wirkungen zu Vorsorge- und Minimierungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik rät. Unter Vorsorgegesichtspunkten sollen die geltenden Grenzwerte nicht ausgeschöpft werden. Eine von NEITZKE u. OBERHOFF (2010) darüber hinaus zusammen gestellte Tabelle mit Grenzwertempfehlungen wissenschaftlicher Gremien befindet sich in Anhang 1 (Tabelle 2).

3.1.1.2 Elektrische Felder

Der zugelassene Effektivwert der elektrischen Feldstärke beträgt in Deutschland 5 kV/m (vgl. 26. BImSchV Anhang 2 zu § 3). Dieser Grenzwert ist bei der Errichtung und Betreibung von Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Gebäuden und Grundstücken, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, zu beachten.

Die nachgewiesenen Effekte von elektrischen Feldern beschränken sich ERM (2008 S. 6.1-26) und OBERFELD (2006, S. 50) zufolge auf den unmittelbaren Leitungsbereich und nehmen mit zunehmender Entfernung rasch ab. Dies ergeben auch die Berechnungen im Berichtsteil Technik, Teil III, Abschn. 2.1. Dabei gehen die Autoren davon aus, dass von elektrischen Feldern an Freileitungen keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit ausgeht. Aus den Simulationsergebnissen im Berichtsteil Technik, Teil III, Abschn. 2, geht hervor, dass der zugelassene Effektivwert der elektrischen Feldstärke in wenigen Extremfällen bei Vollaustattung in Aufpunkthöhe von 1 m EOK direkt unter der Leitung überschritten werden kann. GEO et al. (vgl. 2009, S. 23 zit. nach DAVID 1997) sowie BRAKELMANN (2004, S. 40) zufolge betragen die höchsten gemessenen Feldstärken direkt unterhalb von Freileitungen und im Bereich des stärksten Seildurchhangs weniger als 6 kV/m (vgl. ähnlich FBG-Freileitungsbau GmbH 2008, S. 13 zur ehemals geplanten 380-kV-Leitung Maade-Conneforde).

Brakelmann (2004, S. 40) stellt darüber hinaus fest, dass Gebäudemauern und andere Hindernisse dieses Feld erheblich abschirmen, so dass für die Dauorexposition von Menschen keine Gefährdung durch das elektrische Feld von Freileitungen zu erwarten ist. Ein von außen wirkendes elektrisches Feld wird BUWAL zufolge im Inneren eines Gebäudes um 90 Prozent oder mehr abgeschwächt (vgl. BUWAL 2005, S. 25).

3.1.1.3 Magnetische Felder

Der in der 26. BImSchV festgelegte Grenzwert für das magnetische Feld beträgt 100 μT bei 50 Hz. Er ist bei der Errichtung und Betreibung von Niederfrequenzanlagen in der Nähe von Gebäuden und Grundstücken, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, zu beachten.

Die kontroverse Diskussion hinsichtlich der möglichen Auswirkungen magnetischer Felder wurde bereits in Abschn. 2.1.2 skizziert. Sie findet ihren Widerhall in staaten-, regionen- und länderweise sehr unterschiedlichen Grenzwerten. Im Rahmen dieser Studie ist es nicht möglich, die Fachdiskussion um Wirkungen der magnetischen Felder von Höchstspannungsleitungen umfassend darzustellen - sie wird daher nur in groben Zügen zusammengefasst.

Der INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, einem Beratungsgremium der WHO, ist lediglich von einer "möglichen" gesundheitlichen Wirkung auszugehen (ICNIRP 2010). Die mit der WHO assoziierte Internationale Agentur für Krebsforschung sieht immerhin einen ausreichenden Grund für die Einstufung dieser Felder als "möglicherweise krebserregend" (WHO 2010). Entsprechend geht auch OBERFELD in der umweltmedizinischen Prüfung für das Vorhaben der "380-kV-Salzburgleitung" davon aus, dass die Exposition gegenüber magnetischen Wechselfeldern unter anderem mit einer Risikoerhöhung für bestimmte Krebsformen und neurodegenerative Krankheiten einhergehen kann (Oberfeld 2006, S. 78 zit. nach STEVENS u. DAVIS 1996, ERREN 2001, IARC 2001, CDH 2001, HENSHAW u. REITER 2005).

Es ist unstrittig, dass die Stärke magnetischer Felder mit zunehmendem Abstand von der Quelle abnimmt. Zu Zeiten der Höchstlast können die magnetischen Felder BRAKELMANN (2004, S. 41) und GEO et al. (2009, S. 25) zufolge bis ca. 30 μT in 1 m Höhe EOK direkt unter einer 380-kV-Freileitung betragen. Auch im Berichtsteil Technik, Teil III, Abschn. 3, werden Werte deutlich unter dem Grenzwert der 26. BImSchV errechnet. Entsprechend wird auch in den Planfeststellungsunterlagen der 380-kV-Freileitung Krümmel-Görries (sog. Windsammelschiene) (IBU 2007, S. 254) sowie der einst geplanten (jedoch nicht realisierten) 380-kV-Leitung Maade-Conneforde (vgl. ERM 2008, S. 6.1-27 u. S. 2.6.1-4; TRANSPower 2010, S. 70) davon ausgegangen, dass die Grenzwerte der 26. BImSchV an jeder beliebigen Stelle der Freileitungstrasse in 1 m Höhe EOK eingehalten werden.

Die Risikoabwägung zu EMF, bei der die menschliche Gesundheit als ein besonders hoher Wert einfließt, veranlasst die Strahlenschutzkommission (SSK) angesichts bestehender Wissensunsicherheiten eine Reihe von Vorsorgemaßnahmen zu empfehlen. Über die Empfehlung zur Nichtausschöpfung der Grenzwerte hinaus gehören hierzu u. a. die Anwendung von Minimierungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik und zur Überprüfung der Immissionen sowie zur Informa-

tion der Öffentlichkeit (vgl. Abschn. 2.1.2; vgl SSK 2001, S. 17 ff.; 2004, S. 4; 2009, S. 11).

Angesichts der steigenden Anzahl von Personen mit aktiven Implantaten sieht die SSK darüber hinaus Handlungsbedarf, Störbeeinflussungssituationen im Alltag durch gerätetechnische und regulatorische Maßnahmen zu verringern bzw. zu vermeiden. Zur Vermeidung der Störbeeinflussung von elektronischen Implantaten (z.B. Herzschrittmachern oder Defibrillatoren) sind u.a. ortsfeste Anlagen zur Energieversorgung mit der Frequenz 50 Hz der SSK zufolge so zu planen, zu errichten und zu betreiben, dass auch bei höchster betrieblicher Auslastung die von einer Anlage emittierten magnetischen Induktionen die empfohlenen Grenzen nicht überschreiten (vgl. NEITZKE u. OBERHOFF 2010). Die Induktionen sollten in Bereichen, die Implantatträgern zugänglich sind, und bei denen Feldquellen, die nicht sichtbar bzw. bei denen ein Exposition-vermeidendes Verhalten nicht möglich oder nicht zumutbar ist, folgende Werte nicht überschreiten:

- 10 μT (50 Hz) bzw. 30 μT (16 2/3 Hz) in Bereichen, in denen mit zusätzlichen Feldquellen gerechnet werden muss (z.B. in Wohnanlagen, Seniorenheimen, Krankenhäusern)
- 15 μT (50 Hz) bzw. 45 μT (16 2/3 Hz) in Bereichen, in denen Einträge zusätzlicher Feldquellen nicht zu erwarten und Feldquellen (z.B. Erdkabel) nicht sichtbar bzw. nicht entsprechend gekennzeichnet sind.

Vorsorgeorientierte Maßstäbe gegenüber magnetischen Feldern für den Freileitungsbau sind in Niedersachsen auch in das Planungsrecht eingeflossen. Das Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen (2008) legt als Ziel fest, dass Hoch- und Höchstspannungsleitungen nicht als Freileitung, sondern als Erdkabel verlegt werden, wenn ein Mindestabstand von 400 m im Innenbereich entsprechend § 34 BauGB und 200 m zu Wohngebäuden im Außenbereich entsprechend § 35 BauGB unterschritten wird (Nds. GVBl. 2008, 132) (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.4.5.2.3). Die festgelegten Mindestabstände leiten sich aus der Erkenntnis ab, dass bei einem Abstand von rd. 100 m zu den Leitungen die gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich der elektrischen und magnetischen Feldwirkungen zwar voll erfüllt sind, die Belastungen allerdings noch über dem Niveau der anzunehmenden Grundbelastung liegen. Bei einem Abstand von 200 m zu den Leitungen liegen die elektromagnetischen Auswirkungen der Begründung des Landesraumordnungsprogramms Niedersachsen (2008 Abschn. 4.2 Ziffer 07, Sätze 6-8 LROP) zufolge auf dem Niveau der allgegenwärtigen Grundbelastung und seien insoweit nicht mehr messbar (vgl. auch BUWAL 2005, S. 23). Bei einer 380-kV-Leitung üblicher Bauart sei davon auszugehen, dass bei einem Abstand von 200 m von der Trassenmitte bis zum Wohngebäude Beeinträchtigungen des Wohnumfeldes vermieden werden. Die weitere Verdoppelung des 200 m Abstands zur Wohnbebauung

auf 400 m im Innenbereich berücksichtigt darüber hinaus die typischen wohnumfeldnahen Aktivitäten (Nutzung von Spiel- oder Sportplätzen, ortsrandnahe Wanderwege) und soll damit vorsorgend auch zum Schutz und Erhalt des nahen Wohnumfeldes beitragen. Ebenfalls Abstände von 200 m und 400 m zu Wohnbebauung für eine mögliche Erdverkabelung auf den Strecken der EnLAG-Piloten wurden in §2 Abs. 2 des Energieleitungsausbaugesetzes (EnLAG) übernommen (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.4).

3.1.2 Beeinträchtigungen durch Koronaentladungen

In den hohen elektrischen Feldstärken zwischen den Leiterseilen einer Freileitung kommt es zur stoßweisen Ionisierung von Luftmolekülen, der sogenannten Koronaentladung. Es handelt sich dabei um sehr schwache Entladungen, die in Feldstärken unterhalb der Leuchtbogen- bzw. Funkenentladung stattfinden und sich bei Freileitungen mit Brummtönen, Knacken oder Surren bemerkbar machen kann (BfN 2002, S. 139; GEO et al. vgl. 2009, SEMMLER et. al. 2005; IBU 2007, S. 254; OBERFELD 2006, S. 84; TRANSPOWER 2010, S. 70). Besonders feuchte Witterungsbedingungen wie Nebel oder Raureif verstärken die Effekte. Darüber hinaus kann es zu Störungen im Hörfunkbereich kommen. Der unter feuchten Witterungsbedingungen entstehende Schalldruckpegel ist mit 30 dB bis 60 dB als Störgeräusch wahrnehmbar (vgl. BfN 2002, S. 139). BfN (2002, S. 139) wertet Koronageräusche als nicht akut gesundheitsschädigend. BRAKELMANN (2004, S. 42) zufolge wirken die akustischen Störungen durch Korona-Entladungen erst in unmittelbarer Nähe von Freileitungen beeinträchtigend. Andererseits werden Koronageräusche nur schlecht von Gebäudehüllen absorbiert und treten nachts, zu den Ruhezeiten, in denen andere Geräuschquellen selten sind, besonders deutlich hervor. Sie sind BfN (2002, S.139) zufolge in jedem Fall als eine im Nahbereich beeinträchtigende akustische Auswirkung auf den Menschen zu beachten.

Aus umweltmedizinischer Sicht wird die mögliche Bildung von Stickoxiden und Ozon als ein Effekt von Koronaentladungen diskutiert. Die Beiträge der 380-kV-Salzburgleitung zur Ozonimmissionssituation wurden von OBERFELD (2006, S. 84) im Jahresmittel auf $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geschätzt. Im worst-case der Raureifsituation wurde eine Zusatzbelastung von $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Einstundenmittelwert errechnet. Im Rahmen der Umweltstudie zur ehemals geplanten 380-kV-Leitung Maade-Conneforde wird das Entstehen von Stickoxiden und Ozon als sehr gering eingestuft. Eine Zusatzbelastung durch entstehende Luftschadstoffe sei ausgeschlossen (vgl. ERM 2008, S. 6.1-4). Auch laut TRANSPOWER (2010, S. 70) ist bei 380-kV-Freileitungen in einem Abstand von 4 m zum Leiterseil kein eindeutiger Nachweis von zusätzlich entstandenen Luftschadstoffen mehr möglich. Entsprechend bezeichnet IBU (2007, S. 255) die Auswirkungen von Ozon- und Stickoxidbildungen auf die menschliche Gesundheit als unerheblich.

3.1.3 Beeinträchtigungen durch Unfälle

Unfälle durch Stromschlag, die meist mit schweren Verbrennungen oder Tod einhergehen, stellen an Freileitungen die häufigste Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit dar. Die Gefahr eines Stromschlages ist bei Wartungsarbeiten und insbesondere auch beim Unterqueren der Leitungen mit hohen landwirtschaftlichen Maschinen oder bei der Nutzung von Heißluftballons, Gleitschirmen oder Flugdrachen gegeben. Auch Zugang durch Unbefugte (z.B. Erklettern der Maste durch Kinder) und das Arbeiten in der Nähe einer Freileitung (Sturzgefahr, ungewollte Kontaktierung durch Arbeitsgeräte u. ä.) führt von Zeit zu Zeit zu schwerwiegenden Unfällen (BRAKELMANN 2004, S. 42).

GEO et al. (vgl. 2009, S. 139) zufolge sind als weitere mögliche Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit Abstürze bei Wartungsarbeiten zu bedenken. Ferner kann es im Bereich der Umspannwerke sowohl bei Kabeln wie bei Freileitungen im Falle von Explosionen zu einer Freisetzung von Luftschadstoffen kommen (vgl. OBERFELD 2006, S. 89).

3.1.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Belastungen durch elektrische oder magnetische Felder lassen sich grundsätzlich durch eine Vergrößerung von Wirkabständen minimieren, sei es durch die Erhöhung des Bodenabstands (vgl. Berichtsteil Technik, Teil III, Abschn. 3.4) oder sei es durch die Vergrößerung des seitlichen Abstands. Auch die im Energieleitungsausbaugesetz verankerten Vorsorgeabstände von 400 m (innerörtlich) bzw. 200 m (außerörtlich) zu Wohngebäuden sind ein Beispiel dafür.

Eine nachhaltige Reduzierung der Feldstärken von 380-kV-Freileitungen wird aktuell von TENNET in den westlichen Niederlanden (Bleiswijk) auf einer ca. 20 km langen Strecke entlang der A12 erprobt. Im Rahmen des Projekts "Wintrack" werden neue, schlankere Mastformen entwickelt, um magnetische Felder auf dem Wege einer dichteren Leitungsführung und Optimierung der Phasenbelegung nachhaltig zu reduzieren (TENNET 2009; vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2). Indem die Leiterseile in einer schmalen Zone nebeneinander aufgehängt werden, wird Tenneset zufolge die Magnetfeldzone um mehr als 60 % verringert (www.tennet.org). Betriebsergebnisse sind z.Z. jedoch noch nicht bekannt.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten der Verminderung von Koronaentladungen. Sie beruhen entweder auf einer Verringerung der elektrischen Feldstärke auf der Oberfläche der Leiterseile (Vergrößerung der Leiterradien, Einsatz von Bündelleitern) oder auf einer Beschichtung der Leiterseile, die eine schnellere Trocknung nach Niederschlagsereignissen ermöglicht (GEO et al. 2009; vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2).

3.2 Auswirkungen von Freileitungen auf Tiere und Pflanzen

3.2.1 Gefährdungsfaktoren europäisch geschützter Arten durch Freileitung

Die wildlebenden Arten nach Anhang IV der FFH-Richtlinie sowie die europäischen Vogelarten unterliegen dem Regime des speziellen Artenschutzes nach § 44 und 45 BNatSchG. Die Anforderungen sind in Abschn. 2.2.1 beschrieben. Ebenso wie von Erdkabeltrassen gehen auch von Freileitungen nachteilige Auswirkungen auf europäisch geschützte Arten aus. In der folgenden Übersicht sind die europäisch geschützten Artengruppen wiedergegeben, die durch Bau und Betrieb von Freileitungstrassen gefährdet sind. Dabei ist ersichtlich, dass es bei Freileitungen anders als bei Erdkabeln neben Bauwirkungen vor allem die Betriebswirkungen sind, die als Beeinträchtigung bestimmter Artengruppen ins Gewicht fallen.

Tabelle 12: Gefährdung europäisch geschützter Arten durch Freileitung (eigene Darstellung)

Vorhaben	Wirkbereiche	Farne	Samenpflanzen	Weichtiere	Libellen	Käfer	Schmetterlinge	Rundmäuler und Fische	Lurche	Kriechtiere	Fledermäuse	Gesch. Säugtiere	Rast- und Brutvögel
Bauphase	1 Tötung			x	-	x	-	-	-	-	x	-	-
	2 Störung			-	-	-	-	-	x	x	x	x	x
	3 Fortpflanz.			-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
	4 Zerstörung	x	x										
Anlage/ Betrieb	1 Tötung										-		x
	2 Störung										x	-	x
	3 Fortpflanz.										x	-	x
	4 Zerstörung	x	x										

Legende: leer = kein Risiko; - = Risiko; x = erhöhtes Risiko

Während der Bauphase kommt es insbesondere bei der Freimachung von Trassen und der Errichtung der Fundamente für Freileitungsmasten in der Regel zur Beseitigung von Bäumen und Sträuchern sowie zu Veränderungen der Bodenhorizonte (Versiegelung, Verdichtung). Dabei können Habitate von Tieren oder Exemplare und Standorte von Pflanzen beschädigt oder zerstört werden.

Während der Betriebsphase sind es unter den europäischen Tierartengruppen vor allem die europäischen Vogelarten, die durch die Anlage von Freileitungen gefährdet sind. Es besteht insbesondere die Gefahr, dass Individuen durch Vogelschlag getötet werden. Aber auch die Entwertung von Brut-, Rast- und Nahrungs-

habitaten ist anzuführen, soweit diese durch eine Trasse zerschnitten oder aufgrund der Masten von Arten gemieden werden.

Im Abschn. 2.2 wurden bereits Gefährdungsfaktoren der Bauphase für europäische Tierarten aufgezählt, die grundsätzlich auch für den Freileitungsbau zutreffen. Aufgrund des geringeren Tiefbauanteils werden Tiere während der Bauphase von Freileitungen im Offenland in geringerem Maße als bei Erdkabeln betroffen, in Waldgebieten aufgrund der i. Allg. breiteren Schneisen jedoch in höherem Maße. Um Doppelungen zu vermeiden, werden im Folgenden für die meisten Artengruppen nur ergänzende Hinweise zu den artenschutzrechtlichen Verbotstatbeständen gegeben. Lediglich für europäische Vogelarten, die in besonderer Weise durch die Anlage von Freileitungen gefährdet sind, werden ausführliche Erläuterungen gegeben.

3.2.1.1 Tötung- und Verletzung

Im Hinblick auf den Bau und Betrieb von Freileitungen ist nach § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG grundsätzlich zu gewährleisten, dass keine wildlebenden Tiere der besonders geschützten Arten verletzt, getötet oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur beschädigt oder zerstört werden. Insbesondere bei den Mastbauarbeiten ist darauf zu achten, dass schutzwürdige Tiere und insbesondere auch wenig mobile Weichtiere durch bspw. Absammlung und Umsiedlung geschont werden.

Bei Fledermäusen kann eine Kollision mit den Leitungsseilen ausgeschlossen werden, weil die einzelnen Arten die Hindernisse durch die Ultraschallorientierung identifizieren und so meiden können. Im Gegensatz zu Windenergieanlagen (WEA) führen die Stromseile von Freileitungen keine Drehbewegungen aus, so dass sich das Kollisionsrisiko von WEA nicht auf Freileitungen übertragen lässt (OVG Münster, Urteil vom 19.3.2008).

3.2.1.2 Störung

Eine Störung von wild lebenden Tieren der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten in den Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterrungs- und Wanderzeiten gem. § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG kann grundsätzlich durch Beunruhigungen und Scheuchwirkungen z.B. infolge von Bewegung, Lärm oder Licht eintreten. Unter das Verbot fallen auch Störungen, die durch Zerschneidungs- oder optische Wirkungen hervorgerufen werden, z. B. durch Schneisen oder die Silhouettenwirkung von Masten. Bei Freileitungen können sowohl Bauphase wie Betriebsphase (u.a. Schallemissionen durch Koronaentladungen) mit Störungen verbunden sein. Insbesondere für bestimmte Vogelarten können Freileitungen zu Zerschneidungs- und Barrierewirkungen führen (vgl. Abschn. 3.2.3.3).

3.2.1.3 Beeinträchtigung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten

Bei Bau und Betrieb von Freileitungstrassen dürfen nach § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG keine Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur entnommen, beschädigt oder zerstört werden. Während die Fortpflanzungs- und Ruhestätte bei einer Zerstörung unmittelbar ihre Funktion verliert, liegt eine Beschädigung vor, wenn eine Verminderung des Fortpflanzungserfolges oder der Ruhemöglichkeiten des betroffenen Individuums oder der betroffenen Individuengruppe wahrscheinlich ist. Falls die Beeinträchtigung sukzessive zu einem Verlust der ökologischen Funktion führt, tritt jedoch der Verbotstatbestand ein. An den Maststandorten sind vor allem Fortpflanzungs- und Ruhestätten von Tieren mit einem kleinen Aktionsradius, z.B. Reptilien, betroffen. So weist die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) einen dauerhaften Aktionsraum von 5 bis 99 m² auf, der durch einen Masten durchaus zerstört werden kann.

3.2.2 Zerstörung von Pflanzenbeständen

Bei Bau und Betrieb von Freileitungen ist es gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG verboten, wild lebende Pflanzen der besonders geschützten Arten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören. Bei den Bauarbeiten ist daher darauf zu achten, dass keine Individuen oder Standorte von wild lebenden Pflanzen der streng oder besonders geschützten Arten beschädigt oder zerstört werden. Dazu gehören bspw. der Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*) oder das Schneeglöckchen (*Galanthus nivalis*). Höher wachsende Pflanzen wie Büsche oder Bäume sind i. Allg. nicht streng oder besonders geschützt.

Vor Beginn der Bauarbeiten wird üblicher Weise die gesamte Trassenlänge auf der vollen Schutzstreifenbreite von hohem Bewuchs (Bäumen) befreit. Deren Durchmesser beträgt bei 380-kV-Freileitungen mit Donaumasten etwa 70 m (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3). Mit anderen Masten und kürzeren Spannfeldlängen kann sich die Breite auf 40 m - 60 m reduzieren (vgl. Transpower 2010). Abgesehen von den Maststandorten kann niedriger Bewuchs (Gebüsche) auf der überspannten Fläche erhalten bleiben. Das Konfliktpotenzial von Pflanzen im Mastbereich unterscheidet sich nicht grundsätzlich von den Eingriffen durch Tiefbau bei Erdkabeln.

3.2.3 Gefährdung der Avifauna

Alle europäischen Vogelarten (Avifauna) gehören zu den Arten, die nach §§ 44, 45 BNatSchG unter das Schutzregime des speziellen Artenschutzes fallen. Aus diesem Grund müssen Beeinträchtigungen der Avifauna und ihrer Lebensräume bei Bau

und Betrieb von Freileitungen vermieden werden. Mit Ausnahme denkbarer Folgen durch Lärm und Scheuchwirkung während der Errichtung sind die maßgeblichen Auswirkungen von Freileitungen auf Vögel der Betriebsphase zuzuordnen.

Die Auswirkungen von Freileitungskonstruktionen auf die Avifauna sind bislang vor allem im Zusammengang mit Freileitungen der 20 – 220 kV-Klasse untersucht und beschrieben worden (BALLASUS & SOSSINKA 1997; BERNSHAUSEN et al. 1997; GFN 2009, HAAS & NIPKOW 2008; HAAS et al. 2003; HÖLZINGER 1987; HÜPPOP 2004; RICHARZ 2001; SOSSINKA 2000). Für den o.g. Spannungsbereich weisen die Autoren vor allem auf folgende Gefährdungsfaktoren für Vögel hin:

- Stromschlag (Elektrokution): Mortalität durch Stromschlag infolge von Kurzschluss oder Erdschluss,
- Vogelschlag: Mortalität durch Leitungs- oder Mastenanflug,
- Entwertung und Gefährdung von Habitaten: Zerschneidung von Brut-, Rast- und Nahrungshabitaten sowie Wanderkorridoren, Vergrämung von Vögeln.

Eine untergeordnete Rolle kommt elektrischen oder magnetischen Feldern in der ornithologischen Diskussion zu. Die Wirkung der von Freileitungen ausgehenden Felder auf Vögel wird u.a. von ALTEMÜLLER & REICH (1997), HAMANN et al. (1998) und SILNY (1997) beschrieben. Dabei wird auch eine mögliche Beeinflussung der Erdmagnetfeld-Orientierung von Zugvögeln betrachtet: Das von Vögeln wahrgenommene Erdmagnetfeld ist ein Gleichfeld mit einer magnetischen Flussdichte von 30 bis 65 μ Tesla (in Europa). Der als Höchstwert der magnetischen Flussdichte in 1 m über Boden an einer 380-kV-Freileitung ermittelte Wert (ALTEMÜLLER & REICH 1997), liegt mit 13 μ Tesla deutlich unter der natürlichen magnetischen Flussdichte.

Verhaltensexperimente haben zwar gezeigt, dass ziehende Rotkehlchen durch schwache Magnetfelder ($< 1/50$ der Stärke des Erdmagnetfeldes) in der Radiofrequenz (1 – 50 MHz) desorientiert werden. Es gibt jedoch keine Hinweise darauf, dass ziehende Vögel, die sich am Erdmagnetfeld orientieren, durch niederfrequente Wechselfelder, wie sie bei Hochspannungsleitungen auftreten, in ihrer Zugorientierung beeinflusst werden (MOURITSEN & RITZ 2005). Die Felder würden, falls überhaupt, auch nur beim Überfliegen der Leitungen wirksam sein. Nach heutigem Wissensstand kann die Wirkung der von Freileitungen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder auf Vögel folglich als vernachlässigbar eingestuft werden.

Leiteseile von Freileitungen erreichen im Normalbetrieb bei Dauerlast eine Temperatur von 70° bis 80° C. Durch die Verwendung von Hochtemperatur-Leitesei-

len (so genannte Heißleiterseile) kann die Übertragungskapazität von Freileitungen weiter gesteigert werden, mit einer Temperatursteigerung bis zu 150 °C. Schädigungen bei auf den Seilen rastenden Tieren können die Folge sein (GEO et al., S. 139; HEYNEN 2008). Da Vögel auf Höchstspannungsleitungen das Erdseil als Sitz bevorzugen, ist die Frage der Hochtemperaturseile in diesem Spannungsbereich für die Avifauna voraussichtlich nur von randlichem Interesse. Allerdings besteht noch Ungewissheit darüber, ob nicht doch Verbrennungen durch Kurzkontakte bei vermehrtem Einsatz der Heißleiterseile im Höchstspannungsbereich zunehmen.

3.2.3.1 Vogelschlag

Vor dem Hintergrund, dass wild lebende Tiere der besonders geschützten Arten gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG nicht verletzt oder getötet werden dürfen, ist relevant, dass alle flugfähigen Vögel unabhängig von ihrer Größe durch Leitungs- oder Mastenanflug potenziell kollisionsgefährdet sind (HAAS et al. 2003, Schumacher 2002). Kollisionen gelten von allen Gefährdungen durch Hochspannungsfreileitungen für Vögel als die bei weitem größte Bedrohung (HAAS et al. 2003 S.16).

Unabhängig vom Masttyp, den Masthöhen und den Teilleiterabständen können sich Kollisionen generell bei jeder Art von Freileitung ereignen, da Vögel insbesondere die Entfernungen zu den unnatürlichen horizontalen Strukturen schlecht abschätzen können (RICHARZ 2001). Die meisten Kollisionen erfolgen an den zu oberst angeordneten, einzeln hängenden und besonders dünnen Erd- oder Blitzschutzseilen (HAAS et al. 2003; HOERSCHELMANN et al. 1988). Die Masten von Freileitungen sind tagsüber - unter normalen Sichtbedingungen - für die Vögel gut erkennbar und bergen allenfalls eine geringe Kollisionsgefahr (KAHLERT et al. 2005). Kollisionen ereignen sich am häufigsten, wenn Vögel bei dem Versuch, die relativ gut erkennbaren Leitungsbündel zu überfliegen, nach oben ausweichen und aufgrund der hohen Fluggeschwindigkeit mit dem schlecht sichtbaren Erdseil zusammenstoßen (BEVANGER & BRØSETH 2004; HAAS et al. 2003; RICHARZ 2001; SOSSINKA 2000). Nachts oder bei schlechter Sicht, bspw. Nebel, besteht sowohl an Leitungs- bzw. Erdseilen als auch an Masten prinzipiell ein höheres Kollisionsrisiko (BERNSHAUSEN et al. 1997; HÖLZINGER 1987; KAHLERT et al. 2005).

Das Zustandekommen von Kollisionen an Leiterseilen wird somit beeinflusst durch die optische Wahrnehmung der Konstruktionen durch die Vögel, die Lage der Erdseile, die Hindernisbeherrschung der Vögel im Luftraum und ein artspezifisches bzw. saisonales Verhalten der Vögel (nach HOERSCHELMANN et al. 1988). Aus diesen Faktoren resultiert die Flug- bzw. Nahreaktion der Vögel beim Anflug auf die Konstruktionen. Zum Reaktionsverhalten von fliegenden Vögeln an 380-kV-

Freileitungen wurden von BERNSHAUSEN et al. (1997) und SELLIN (2000) die im Folgenden zusammengefassten Studien durchgeführt.

BERNSHAUSEN et al. (1997) untersuchten einen 1,5 km langen Abschnitt einer 380-kV-Freileitungstrasse in Erftstadt, Nordrhein-Westfalen, im Zeitabschnitt zwischen Morgen- und Abenddämmerung. Der Trassenabschnitt befand sich zwischen einer ackerbaulich genutzten, offenen Agrarlandschaft und einem Wäldchen bzw. einem naturfernen Stillgewässer. Die häufigste Reaktion, die fliegende Vögel bei Erreichen der Leitung zeigten, war in etwa 57 % der Fälle das Überfliegen des Erdseils. Zu dieser inhomogenen Vogelgruppe gehörten vor allem Graureiher, Enten, Stare, Greifvögel, Limikolen, Lerchen und Drosseln. Für eine deutlich geringere Individuenzahl wurde das Unterfliegen der stromführenden Leitungen (17 %) registriert. Bei diesen Vögeln handelte es sich ausschließlich um Singvogelarten (Goldammer, Amsel, Rauch- und Mehlschwalbe), die relativ klein und wenig sind. Das Überfliegen der Leiterseile unterhalb des Erdseils wurde in 13 % der Fälle festgestellt, das betreffende Artenspektrum setzte sich aus kleinen bis mittelgroßen, wendigen Arten zusammen (Pieper, Sperlinge, Finken, Kiebitze). Nur in 6 % der Fälle durchquerten Vögel die Leiterseile. Es handelte sich um kleinere Singvogelarten, im Wesentlichen um Finken. Weitere 6 % der Vögel reagierten mit frühzeitigem Abdrehen und anschließendem Parallelflug. Dieses Verhalten zeigten verstärkt Tauben, Feldlerchen, Wiesenpieper und Stockenten. Dabei stellten BERNSHAUSEN et al. (1997) fest, dass über 70 % der Flugreaktionen sogenannte Nahreaktionen in einem Abstand von unter 30 m zur Trasse waren. Unter diesen wurde für 55 % die Änderung der Flughöhe festgestellt, für weitere 11 % eine „kritische Nahreaktion“ durch Ändern des Verhaltens „im letzten Augenblick“ (BERNSHAUSEN et al. 1997). Von diesen kritischen Nahreaktionen waren besonders Tauben, Pieper, Finken, Feldlerchen und Schafstelzen betroffen. Zu den meisten kritischen Nahreaktionen kam es am dünnen, für die Vögel erst spät erkennbaren Erdseil. In den Dämmerungsstunden zeigten Graureiher einen hohen Anteil an kritischen Reaktionen, was die Problematik der schlechten Erkennbarkeit der Drähte verdeutlicht. Totfunde wurden bei den Untersuchungen am Standort Erftstadt nicht gemacht.

SELLIN (2000) führte Untersuchungen an einer 380-kV-Freileitung nahe des Kernkraftwerkes (KKW) Lubmin am EU-Vogelschutzgebiet Greifswalder Bodden und südlicher Strelasund im Zeitabschnitt zwischen Morgen- und Abenddämmerung durch. Die untersuchte Fläche befand sich in Küstennähe und war überwiegend von intensiv beweidetem Grasland bedeckt. Ein Teil der Trasse führte über den Kühlwasserkanal des KKW. Etwa 49 % der erfassten Vögel querte die Trasse in einem Bereich von maximal 50 m oberhalb der Erdseile. Dabei handelte es sich überwiegend um Stare und Möwen. Bei den Möwen, die die Trasse auf ihrem Brut- und winterlichen Schlafplatzflug täglich querten, war aufgrund ihres zielstrebigem

und knappen Überfliegens des Erdseils im Bereich des stärksten Durchhangs ein Gewöhnungseffekt festzustellen, der vermutlich während der Brutzeit entstanden ist (SELLIN 2010). 17 % unterflogen die Leiterseile, bei denen es sich überwiegend (73 %) um Kleinvögel handelte. 11 % der registrierten Vögel schwamm unterhalb der Freileitung im Einlaufkanal. Im kritischen Bereich zwischen Leiterseil und Erdseilen wurden 7 % aller Individuen erfasst. Beim Durchqueren dieses Raumes beobachtete SELLIN (2000 S. 62) „zum Teil panikartige Flugmanöver im Form von schreckhaftem Ausweichen nach oben oder unten“. In vier Fällen kam es zu direkter Berührung der Leiterseile, was in einem Fall für den Vogel sofort tödlich endete (Gänsesäger).

Hinsichtlich des von Kollisionen betroffenen Artenspektrums sind Hoch- und Höchstspannungsleitungen trotz unterschiedlicher konstruktiver Merkmale unter weitgehend gleichen Gesichtspunkten zu betrachten. Von Kollisionen an diesen Freileitungstypen betroffen sind nach BERNSHAUSEN et al. (1997), HAAS et al. (2003) und JANSS & FERRER (1997) vor allem Vögel mit einer geringen bzw. trägen Wendigkeit, kritischer Nahreaktion (s.o.) bzw. einem eingeschränktem Sehfeld (eingeschränktem binokularem Sehvermögen durch seitliche Anordnung der Augen). Während das letztgenannte Merkmal auf die meisten Vogelarten – mit Ausnahme von Greifvögeln und Eulen – zutrifft, zählen zu den Arten mit geringer Wendigkeit und kritischer Nahreaktion vor allem größere Vögel wie Trappen, Hühnervögel, Reiher, Störche, Kraniche, Rohr- und Zwergdommeln, Gänse, Kormorane, See- und Lappentaucher, Säger, Enten und Schwäne .

Vor dem Hintergrund einer möglichen Adaption der Vögel an die Gefahrenquelle und daraus möglicherweise resultierenden Meidung der kollisionskritischen Trassenbereiche ist die Raumnutzung bzw. Aufenthaltsdauer bzw. der Vögel in einem Gebiete eine wesentliche Einflussgröße (BEVANGER & BRØSETH 2004). Dabei wird im Folgenden zwischen Brut-, Rast- und Zugvögeln unterschieden.

Vogelschlag bei Brutvögeln

Brutvögel können sich prinzipiell über die verhältnismäßig lange Dauer ihrer Anwesenheit an einem Ort an bestehende Strukturen und bauliche Veränderungen in ihrem Lebensraum gewöhnen und sich ihrer Umgebung anpassen (BERNSHAUSEN et al. 1997). Für bestimmte Arten gilt, dass brütende Individuen deshalb seltener Opfer von Freileitungen werden als gebietsfremde rastende oder ziehende Individuen (HAAS et al. 2003). Für Flächen, in denen sich überwiegend eingesessene Brutvögel und langfristig anwesende Nahrungsgäste aufhalten, setzt HOERSCHELMANN (1997 S. 168) die Zahl der Anflugopfer bei Freileitungen „zumindest um das Zehnfache geringer“ an als in rastvogelreichen Niederungen, deren Bestände über kürzere Dauer in einem Gebiet verweilen. Möglicherweise erhöht

die hohe Frequenz des Leitungsüberfliegens (mehrmals täglich) in einem mehrmonatigen Zeitraum bei anderen Brutvogelarten jedoch das Kollisionsrisiko.

FANGRATH (2003) stellte in verhaltensbiologischen Untersuchungen von Leitungsanflügen in einem Brutgebiet des Weißstorchs fest, dass Altvögel bei 12 % und Jungvögel bei 18 % der Querungen einer Hochspannungsleitungen (Typ Tanne) einer Gefahr ausgesetzt waren. Bei den Weißstörchen führten unter anderem die träge Wendigkeit und der Gaukelflug mit hängenden Beinen zu Kollisionen. Zu berücksichtigen ist für alle Arten, dass die noch unerfahrenen Jungvögel in den Brutlebensräumen generell kollisionsgefährdeter sind als Altvögel.

Bestimmte Arten können auch bei der Flugbalz mit den Leitungen kollidieren (bspw. Kolkrabe, Schwarzmilan, Seeadler, Großer Brachvogel, Kiebitz, Waldschnepfe, Bekassine), was insbesondere solche Arten betrifft, die auch in der Dämmerung oder nachts balzen (wie die 3 letztgenannten) (ALTEMÜLLER & REICH 1997; RICHARZ 2001). Bei den in Deutschland stark rückläufigen Wiesenbrütern lässt sich dieser anzunehmende Effekt aufgrund der vergleichsweise geringen Siedlungsdichten „jedoch kaum nachweisen“ (ALTEMÜLLER & REICH 1997 S. 125) und muss vor diesem Hintergrund in der Literatur als unterrepräsentiert angesehen werden. Hinweise auf eine erhöhte Kollisionsgefährdung von Kiebitz, Uferschnepfe und Bekassine während der Brutzeit finden sich jedoch in HEIJNIS (1976) und HOERSCHELMANN et al. (1988). ALTEMÜLLER & REICH (1997 S. 124) führen den Widerspruch zwischen dem konstatierten Meideverhalten dieser Arten gegenüber Freileitungen im Brutgebiet (vgl. Kap. 3.2.3.3) und der erhöhten Kollisionsgefahr während der Brutzeit darauf zurück, dass es möglicherweise erst durch hohe Mortalitätsraten an Freileitungen zu einer „Entvölkerung“ – und damit Meidung - des unmittelbaren Trassenbereichs kommt.

Eine erhöhte Gefährdung besteht möglicherweise auch für Brutvogelarten mit großflächigen offenen Nahrungshabitaten bzw. Arten, die zwischen Brut- und Nahrungshabitat weitere Strecken zurücklegen und dabei in größeren Höhen fliegen. Zu dieser als Großvögel bezeichneten Gruppe zählen Weiß- und Schwarzstorch, Löffler, Graureiher, Kormoran, Gänse, Mittel- und Gänsesäger, Möwen, Seeschwalben, Greifvögel und Eulen. Andererseits gibt es Hinweise darauf, dass Greifvögel durch ihr gut ausgeprägtes räumliches Sehvermögen einer relativ geringen Gefährdung durch Drahtanflug unterliegen (BERNSHAUSEN et al. 1997; LANGGEMACH 1997). Bei Wander- und Baumfalken sowie Fischadlern, die in einigen Bundesländern erfolgreich auf Freileitungen brüten (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT NATURSCHUTZ LANA 2010; MEYBURG et al. 1995) (vgl. Abschn. 3.2.3.3), kann eine verminderte Kollisionsgefährdung durch Freileitungen im Brutgebiet angenommen werden. Allerdings trifft dies möglicherweise nur auf die konkret auf Leitungen brütenden Individuen zu, die während der Reviersuche bereits be-

stehende Konstruktionen besiedelten, während andere Individuen dieser drei Arten – ohne entsprechende Adaption an die Konstruktionen – vermutlich einer höheren Kollisionsgefahr unterliegen.

Prädestiniert für Leitungsanflug durch Schwarzstörche sind Freileitungsbereiche in Waldschneisen, wo sich die Leiterseile für den fliegenden Vogel optisch nicht genug von dem dunklen Hintergrund (Wald) abheben (RYSILAVY & PUTZE 2000).

Eine bestandsgefährdende Wirkung durch Kollisionen an Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen ist generell für solche Brutvogelarten zu befürchten, deren Vorkommen selten bzw. deren Brutbestandssituation ohnehin kritisch ist. Nach HÖTKER (2004), LITZBARKI & LITZBARKI (1996), RYSILAVY & PUTZE (2000) bzw. ALTEMÜLLER & REICH (1997) trifft dies in Deutschland insbesondere auf Schwarzstorch, Großtrappe und Wiesenweihe zu. Weitere durch Kollisionen an Freileitungen besonders betroffene und als besonders schützenswert geltende Brutvogelarten des Anhang I der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG) sind Weißstorch, See-, Fisch- und Schreiadler, Korn- und Rohrweihe, Wespenbussard, Rotmilan, Uhu und Kranich (ALTENKAMP et al. 2001; HÖTKER 2004; Langgemach 1997; MLUR 2006; NLWKN 2009). Angesichts der gravierenden Bestandseinbrüche der Wiesenbrüter kann Leitungsanflug gerade bei lokalen Restpopulationen dieser Arten ebenfalls eine hohe Gefährdung bedeuten (ALTEMÜLLER & REICH 1997). Zu diesem Artenspektrum gehören Kiebitz, Großer Brachvogel, Rotschenkel, Bekassine, Wachtelkönig, Kampfläufer (BOSCHERT 2004) und im weiteren Sinne auch das Tüpfelsumpfhuhn (NLWKN 2009).

Vogelschlag bei Rastvögeln

Rastvögel unterliegen aufgrund fehlender Ortskenntnisse gegenüber Brut- bzw. Standvögeln einer erhöhten Kollisionsgefahr (BERNSHAUSEN et al. 1997; HOERSCHELMANN 1997). Wenn Freileitungstrassen Schlafgebiete und Nahrungsflächen von Rastvögeln voneinander trennen - das ist z.B. oft bei Kranichen, nordischen Gänsen oder Schwänen der Fall - müssen die Leitungen mindestens zweimal täglich von den Rastvögeln überquert werden (MUGV 2003).

Insbesondere an größeren Rastplätzen legen Kraniche aufgrund des entstehenden Nahrungsbedarfs und Fraßdrucks im unmittelbaren Umfeld des Schlafgewässers täglich Entfernungen bis zu 20 km zu ihren Nahrungsflächen zurück. Dadurch kommt es regelmäßig zu Flugbewegungen in vollständiger Dunkelheit, die darüber hinaus an starken Zugtagen bis weit in die Nacht anhalten können. Hieraus ergibt sich ein hohes Kollisionsrisiko (vgl. MUGV 2003). Zudem kann es auch bei guten Sichtbedingungen zum Leitungsanflug kommen, wenn Vögel durch Störungen fluchtartig losfliegen und unkontrolliert in die Leitungsseile geraten (KAHLERT et al. 2005).

Einen Gewöhnungseffekt stellte SELLIN (2000) bei Silbermöwen fest, die einen außerhalb der Brutzeit regelmäßig genutzten Schlafplatz täglich zielsicher und in knapper Höhe über eine 380-kV-Freileitung hinweg ansteuerten. Bei diesen Möwen, von denen ein Teil auch im Gebiet brütete, kam es aber vermutlich bereits während der Brutzeit zu einem Gewöhnungseffekt an die Freileitung (SELLIN 2010).

Vogelschlag bei Zugvögeln

Bei Zugvögeln kommt es im Gegensatz zu Brut- und in einem gewissen Maße auch Rastvögeln aufgrund der höchstens kurzzeitigen Verweildauer in einem Gebiet, nicht zu einem Gewöhnungseffekt an Freileitungen. Vor diesem Hintergrund gelten sie generell als besonders von Kollisionen betroffen (BERNSHAUSEN et al. 1997; HAAS et al. 2003; HÖLZINGER 1987).

Einige Arten fliegen je nach Topographie, Wetterverhältnissen (v.a. Windstärke und Windrichtung) und artspezifischer Charakteristik tagsüber in den kritischen Höhenbereichen von 20 – 65 m, in denen sich die Seile befinden. In der Nacht sind die Flughöhen von Zugvögeln bei guter Witterung meist höher, jedoch bei schlechter Witterung wieder im kritischen Bereich der Leiterseile (Gatter 2000).

Die Häufigkeit der Drahtanflüge fällt nachts und in der Dämmerung im Verhältnis zu tagsüber größer aus und spiegelt sich in einer Häufigkeitsverteilung von etwa 85:15% wieder (HAAS et al. 2003; HÖLZINGER 1987). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Mehrzahl der Vögel nachts zieht und die Leitungen in der Nacht für die Vögel schlecht zu erkennen sind. Bestimmte Wetterlagen, z.B. Niederschläge und starker Wind, erhöhen die Unfallhäufigkeit (HÖLZINGER 1987; KAHLERT et al. 2005). Für Langstreckenzieher, die auf ihrem Zugweg zahlreiche Trassen queren müssen, besteht darüber hinaus ein erhöhtes Kollisionsrisiko (HAAS et al. 2003).

Die Häufigkeit des Vogelschlags oder des Stromschlags hängt zudem von der Lage der Freileitung ab. Besonders hohe Verlustzahlen sind in Durchzugs- und Rastgebieten mit großen Vogelzahlen zu verzeichnen. Neben den unmittelbaren Küstenstreifen und küstennahen Niederungen sind für das Binnenland in dieser Hinsicht große Gewässer und Feuchtgebiete als bedeutsame Rast- und Brutplätze sowie Talzüge als „vogelkritische“ Zonen zu nennen (HOERSCHELMANN 1997; RICHARZ 2001). HEIJNIS (1980) gibt für eine 380-kV-Höchstspannungsleitung, die durch zwei bedeutende Rastgebiete in Holland führt, 700 verunglückte Vögel pro Jahr und Kilometer an. Die meisten Schlagopfer wurden in den Zugmonaten April bis Mai (Heimzug) sowie August und September (Wegzug) gefunden. SCOTT et al. (1972) untersuchten über sechs Jahre (188 Suchgänge) zwei parallele 380-kV-Höchstspannungsleitungen von etwa 1,5 km Länge an der Küste von Kent in einem für

die Dichte des Singvogelzuges bekannten Gebiet. Insgesamt wird für den Untersuchungszeitraum von mehr als 6.000 Opfern ausgegangen, was etwa 600 verunglückten Vögeln pro Leitungskilometer und Jahr entspricht. Die von HOERSCHELMANN et al. (1988) untersuchte 380-kV-Leitung über die Marschen der Untereibe in der Nähe des NSG Haseldorfer Binnenelbe ist, sowohl was die Geländestruktur als auch was die Vogelhäufigkeit anbelangt, mit den Untersuchungen von SCOTT und HEIJNIS zu vergleichen (HOERSCHELMANN 1997 S. 166). In zwei Frühjahrs- und zwei Herbstzugperioden wurden auf einer Strecke von etwa 4,5 Kilometer insgesamt 867 tote Vögel bzw. deren Reste gefunden. Nach Ermittlung einer Abtragsrate und eines Korrekturfaktors ergab sich eine jährliche Unfallrate von ca. 400 Vögeln pro Leitungskilometer.

SELLIN (2000) untersuchte den Vogelschlag an einem 930 m langen Abschnitt einer 380-kV-Leitung am EU-Vogelschutzgebiet Greifswalder Bodden und südlicher Strelasund. Im zwölfmonatigen Untersuchungszeitraum wurden 56 Totfunde und Rupfungen gemacht, die sich „erwartungsgemäß“ (SELLIN 2000 S. 63) überwiegend aus Feuchtgebietsvögeln (81 %) zusammensetzten. Der größte Anteil der verunglückten Vögel entfiel auf Höckerschwäne, gefolgt von Gänsesäger, Stock- und Krickenten. „Nach vorsichtiger Schätzung“ (SELLIN 2000 S. 65) wird der tatsächliche Verlust von Vögeln für den untersuchten Einjahreszeitraum unter Berücksichtigung des Abtrags durch Aasfresser auf 500 – 1.000 Anflugopfer beziffert.

Eine vergleichsweise niedrige Kollisionsrate ermittelte PIPER (1992), zitiert in HOERSCHELMANN (1997), an einer etwa zwei Kilometer langen 380-kV-Leitung zwischen Lüneburg und Krümmel. Die Leitung durchzieht ein trockenes von Hecken und Gehölzen durchsetztes Acker- und Grünlandgebiet. Größere Ansammlungen rastender oder nahrungssuchender Vögel konnten nicht festgestellt werden. Innerhalb von zwei Jahren wurden nur 16 Vögel bzw. deren Reste gefunden. Nach Berücksichtigung einer empirisch ermittelten Abtragsrate durch Aasfresser wird jährlich von etwa 20 toten Vögeln pro Leitungskilometer ausgegangen.

Im Unterschied zu den oben genannten Untersuchungen gibt es auch Studien, bei denen keine Totfunde gemacht wurden. Die von BERNSHAUSEN et al. (1997) an einem 1,5 km langen Abschnitt einer 380-kV-Freileitungstrasse in Erftstadt, Nordrhein-Westfalen durchgeführten Untersuchungen erbrachten keine Totfunde. Der Trassenabschnitt befand sich zwischen einer ackerbaulich genutzten, offenen Agrarlandschaft und einem Wäldchen bzw. einem naturfernen Stillgewässer.

Fasst man die Ergebnisse der zitierten Untersuchungen an Höchstspannungstrassen mit hohen Vogelverlusten zusammen, so lässt sich folgern, dass in feuchten, vorwiegend von Grünland beherrschten Niederungsgebieten mit starkem Vogelzug und hohen Rastbeständen jährlich zwischen 200 und 700 Vögel pro Leitungskilometer durch Leitungsanflug verunglücken. Von ähnlichen Verhältnissen ist

an anderen Konzentrationspunkten des Vogelzuges, z.B. an Gebirgspässen, Talzügen und Küsten auszugehen. Die stark variierenden Kollisionsraten verdeutlichen, dass in „gewöhnlichen“ Landschaften ohne besondere Bedeutung für den Vogelschutz keine erhöhte Gefährdung durch Höchstspannungsleitungen für Vögel bestehen. Zu einem ähnlichen Fazit kommen HAVELKA et al. (1997), die im Rahmen einer dreijährigen Studie das Drahtanflugrisiko für Vögel an Freileitungen in verschiedenen typischen Landschaftsräumen Deutschlands untersuchten. Im Ergebnis wurde für die Verlustrate durch Leitungsanflug in Leitungsabschnitten ohne typisches konzentriertes Zugeschehen keine Relevanz für den Artenschutz festgestellt. Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der zitierten Untersuchungen zusammen.

Tabelle 13: Kollisionsopfer an Höchstspannungsleitungen (380 – 400 kV)

Quelle	Untersuchungsgebiet	Gebietsmerkmale	Masttyp	Leitungstyp	Anflugopfer je km und Jahr
BERNSHAUSEN ET AL. (1997)	Erfstadt, Nordrhein-Westfalen	Ackerbaulich genutzte, offene Agrarlandschaft mit kleinem Wald und naturfernem Stillgewässer	Keine Angabe	380-kV	0
HEIJNIS (1980)	NSG Westerzijdeveld / de Reef (NL)	Sumpfige Feuchtwiesen mit sehr hohem Rastvogelbestand	Donaumasten	380-kV: 6 dreier-Bündelleiter und 2 Erdseile	700
HOERSCHELMANN ET AL. (1988)	Untere Elbe Haseldorfer Marsch (westlich von Hamburg)	Marschland in unmittelbarer Flussnähe	Tonnen- und Donaumasten	380-kV, 6 doppelte Leiterseile, 2 Erdseile	mind. 400
PIPER ET AL. (1992)	Lüneburg - Krümmel (Niedersachsen)	Trockenes, von Hecken und Gehölzen durchsetztes Acker- und Grünlandgebiet	Keine Angabe	380-kV	max. 20
SCOTT ET AL. (1972)	Dungeness (Küste von Kent)	hohe Singvogelzugdichte	Tonnenmasten	2 x 380-kV-Leitungen nebeneinander	600
SELLIN (2000)	Küste bei Lubmin, Mecklenburg-Vorpommern	Intensiv beweidetes Grasland nahe Greifswalder Bodden	Keine Angabe	3 x 380 kV nebeneinander	500 – 1.000

3.2.3.2 Stromschlag

Stromschlag entsteht durch die Überbrückung von Spannungspotenzialen (RICHARZ 2001). Dies kann durch Erdschluss zwischen spannungsführenden Leitern und geerdeten Bauteilen oder als Kurzschluss zwischen Leiterseilen verschiedener Spannung geschehen. Hierbei überbrückt der Vogel mit seinem Körper, oder

in seltenen Fällen mittels Harnstrahl, Leitungen verschiedener Spannungen oder geerdete Bauteile (Erdseile, Masten und Isolatoren) und Leiterseile, wodurch ein Kurzschluss / Erdschluss ausgelöst wird (HÖLZINGER 1987; HÜPPOP 2004). Der Vogel erfährt dabei schwere bis tödliche Verletzungen. Zudem besteht die Möglichkeit, dass sich ein Lichtbogen zwischen Tier und Leiterseil bildet und ebenfalls zu tödlichen Verletzungen führt (HAAS & NIPKOW 2005).

Kurzschlüsse werden an Freileitungen verursacht, deren Leiterseile dicht beieinander liegen (Abstand weniger als 130 cm) oder nur sehr kurze oder aufrechtstehende Stützisolatoren aufweisen. Dies kann bei Tragmasten mit Stützisolatoren, gewissen Abspannmasten, Maststationen mit Transformator und Schaltermasten der Fall sein (FIEDLER & WISSNER 1989, BREUER 2007), die vorzugsweise bei älteren Mittelspannungsfreileitungen (bis 60 kV) verwendet wurden. Bei höheren Spannungen (110 bis 380 kV) ist der Abstand zwischen Leiterseilen und Mast bzw. zwischen den einzelnen Seilen größer und eine zum Stromtod führende Überbrückung kann vermieden werden (RICHARZ 2001). Die vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2 aufgeführten konventionellen Höchstspannungsmasten zeigen einen Leiterabstand von mind. 6,60 m.

Freileitungsmasten gelten als vogelsicher, wenn der Abstand zwischen einem möglichen Sitzplatz der Vögel und den unter Spannung stehenden Teilen mehr als 60 cm beträgt (HAAS & NIPKOW 2008, S. 9).

3.2.3.3 Habitatbeeinträchtigung

Die artenschutzrechtlich zu schützenden Fortpflanzungs- oder Ruhestätten (Schlaf-, Mauser- und Rastplätze) der europäischen Vogelarten sind beispielsweise Balzplätze, Paarungsgebiete, Neststandorte, Brutplätze oder -kolonien. Entscheidend für das Vorliegen einer Beeinträchtigung ist die Feststellung, dass eine Verminderung des Fortpflanzungserfolges oder der Ruhemöglichkeiten des betroffenen Individuums oder der betroffenen Individuengruppe wahrscheinlich ist. Dieser funktional abgeleitete Ansatz bedingt, dass sowohl unmittelbare Wirkungen der engeren Fortpflanzungs- und Ruhestätte als auch graduell wirksame und/oder „schleichende“ mittelbare Beeinträchtigungen zu werten sind.

Mit der Errichtung von Höchstspannungsfreileitungen treten baubedingte Wirkungen lokal und temporär im Baubereich auf und beziehen sich sowohl auf die eigentlichen Baumaßnahmen mit Baugeräten und Baufahrzeugen einschließlich der Lärm-, Licht- und sonstigen Emissionen, als auch auf den Bauzulieferverkehr mit LKW. Während der Bauphase ist durch menschliche Anwesenheit, Maschineneinsatz und Lärm in erster Linie von akustischen und visuellen Störungen auf Vögel, einer kleinräumigen Verschlechterung der Nahrungsbedingungen durch Flächenumwandlung (Zuwegung, Material- und Gerätelager) sowie möglicher-

weise der mechanischen Zerstörung von Brutstandorten auszugehen. Betroffen davon sind Brut- und Rastvögel sowie Nahrungsgäste.

Je nach Intensität der Störung und artspezifischer Stöempfindlichkeit kann nicht ausgeschlossen werden, dass es während der Bauphase zu einmaliger Scheuchwirkung, höheren Fluchtdistanzen oder endgültiger Vergrämung, insbesondere von kulturflüchtenden Arten kommt. Finden Baumaßnahmen während der Brutzeit statt, sind prinzipiell Verluste von Gelegen und flugunfähigen Jungvögeln denkbar.

In durch Schall- bzw. Lärmemissionen und Bewegung vorbelasteten Gebieten ist anzunehmen, dass sich die vorkommenden Vogelarten durch eine relativ große Störungstoleranz auszeichnen.

Neben den baubedingten Wirkungen kann es zu Beeinträchtigungen während des Betriebs kommen. Als potenzielle Beeinträchtigung der Vogelwelt durch Höchstspannungsfreileitungen ist die Habitatentwertung durch Habitatzerschneidung, Scheuchwirkung und Vergrämung/ permanente Meidung zu betrachten. Zudem kann es durch Ausweichmanöver und „Hindernisflüge“ bei den Vögeln zu energetischen Engpässen kommen, die sich auf die Überlebens- bzw. Reproduktionschancen auswirken (HÜPPOP 2004).

Für einige Vogelarten wurden verminderte Raumnutzungsintensitäten bzw. Meidungen im Nahbereich von Leitungstrassen festgestellt. Je nachdem, ob sich die Vögel länger in einem Gebiet aufhalten oder es nur kurzzeitig frequentieren, unterscheiden sich die Auswirkungen in ihrem quantitativen und qualitativen Ausmaß. Im Folgenden wird zwischen Brut-, Nahrungs- und Rasthabitaten sowie Wanderkorridoren von ziehenden Vögeln unterschieden.

Beeinträchtigung von Bruthabitaten

Insbesondere freibrütende Arten des Offenlandes wie Wiesenbrüter und Vögel der Agrarlandschaft sind durch Scheuch- und Silhouettenwirkung, wie sie durch Windräder oder Hochspannungsmasten hervorgerufen werden, betroffen. Die genannten Artengruppen sind auf offene, optisch weite Landschaften, u.a. zum Schutz vor Fressfeinden (Greif- und Rabenvögeln), angewiesen. Da Freileitungsmasten von diesen Prädatoren gerne als Ansitzwarten genutzt werden, können u. U. Vergrämungseffekte und Eingriffe in das Räuber-Beute-Verhältnis auftreten (ALTEMÜLLER & REICH 1997).

Eine Zunahme der Prädation durch auf Strommasten sitzenden Greif- und Rabenvögeln wurde bei Wiesenvögeln (bspw. Kiebitz, Rotschenkel, Großer Brachvogel) festgestellt. Während fliegende Beutegreifer oft erfolgreich durch Luftangriffe aus der Nestumgebung vertrieben werden können, versagt diese Abwehrstrategie ge-

gen ansitzenden Prädatoren. Vielmehr haben diese die Möglichkeit, die brütenden Limikolen ausdauernd zu beobachten und eine passende Gelegenheit abzuwarten. Eine einzige Störung (z.B. durch Menschen) kann dann ausreichen, um dem Beutegreifer den Weg zum Gelege zu ermöglichen (ALTEMÜLLER & REICH 1997; ALTENKAMP et al. 2001). Bei kritischen Bestandsgrößen kann dies zum Erlöschen von Populationen führen.

Von verschiedenen Limikolenarten und der Feldlerche ist bekannt, dass sie in der Nähe von Freileitungen nicht mehr brüten.

In Baden Württemberg wurde nachgewiesen, dass ehemals besetzte Brutplätze von Kiebitz, Bekassine und Großem Brachvogel nach der Errichtung von Hochspannungsleitungen gemieden wurden (HÖLZINGER 1987); allerdings konnte in dieser Studie nicht abschließend geklärt werden, ob die Brutaufgaben ausschließlich auf die Wirkung der Freileitungstrasse zurückzuführen waren.

ALTEMÜLLER & REICH (1997) fanden in ihrer Untersuchung im Haseldorfer Altpolder westlich von Hamburg zwar heraus, dass der Kiebitz die dortigen Leitungen (380 und 110 kV) nicht meidet, doch fanden auch sie keine Brutnachweise innerhalb eines beidseitigen 100-Meter-Korridors entlang der Leitungen. Demgegenüber brütete der Große Brachvogel auch in unmittelbarer Nähe der Leitung.

In Westzijderveld und de Reef (Holland) nutzten Kiebitze, Uferschnepfen, Bekassinen und Kampfläufer die Bereiche entlang von Hochspannungsleitungen (150-380-kV) auf einer beiderseitigen Breite von ca. 100 m nicht mehr als Brutplätze. Lediglich Austernfischer brüteten noch innerhalb der Hochspannungstrasse (HEIJNIS 1980). Bei Untersuchungen im Elbe-Weser-Dreieck konnte hingegen kein Einfluss von Hochspannungsleitungen auf das Brutverhalten von Kiebitz und Großem Brachvogel beobachtet werden. Dagegen konnte für die Feldlerche eine signifikante Bevorzugung leitungsferner Bereiche und eine Meidung von etwa 100 m zu den Freileitungstrassen nachgewiesen werden (ALTEMÜLLER & REICH 1997).

Schreiadler gehören zu den Arten mit der größtmöglichen Sensibilität gegenüber anthropogen bedingten Störwirkungen wie Freileitungen, Verkehrswegen oder Windkraftanlagen. Freileitungen können die Altvögel von Nahrungsflächen fernhalten und dadurch direkt den Bruterfolg beeinflussen, die Luftbalz und andere interspezifische Beziehungen zwischen benachbarten Paaren beeinträchtigen bzw. möglicherweise komplett unterbinden. Bereits kleine Störwirkungen des Brutverlaufs infolge störungsbedingter Meidung von wichtigen Nahrungsflächen können zur Aufgabe eines Brutplatzes führen (MUGV 2003). Eine entgegengesetzte Wirkung geht gerade in baumlosen bzw. strukturarmen Landschaften auf bestimmte Vogelarten aus, die Hochspannungsfreileitungsmasten als Niststandort

nutzen. Kolkraben und Rabenkrähen bauen Nester auf Gittermasttraversen, die später oft in Folgenutzung durch Turm- und Baumfalken übergehen. Regional brüten manchmal mehr Individuen einer Art auf Masten als an ihren ursprünglichen Standorten, wie bspw. Baumfalken im Altenburger und Kohrener Land oder Fischadler in Nordostdeutschland. Der Reproduktionserfolg der Mastbrüter kann dabei höher ausfallen als bei den Baumbrütern (Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) 2010; MEYBURG et al. 1995).

Weißstorchhorste sind hingegen bereits auf 110-kV-Freileitungsmasten in Mitteleuropa verhältnismäßig selten. In Österreich siedelte sich im Rheintal bei Hohenems/Vorarlberg ein Storchenpaar auf einem mit 220/380 kV bespannten Tragmast (Typ Tonne) der Vorarlberger Illwerke an und hielt den Brutplatz von 1983 bis mindestens 2004 (ZEHFUß 2005).

Beeinträchtigung von Rasthabitaten

Rastvögel reagieren in ihren Rastgebieten mit mehr oder weniger ausgeprägtem Meideverhalten gegenüber Freileitungen. Bei überwinternden arktischen Gänsen wurde in Nordrhein-Westfalen in Trassennähe (220 kV) vermehrtes Sichern (erhöhte Wachsamkeit, kürzere Fraßphasen) und weniger Komfortverhalten (Ruhen) festgestellt, was auf erhöhten Stress hindeutet und die Nahrungsaufnahmerate beeinträchtigt. In den leitungsnahe Bereichen (40-60 m Abstand) grasteten deutlich weniger Gänse als in trassenfernen Bereichen, auch wurden kleine Weideflächen, die durch Freileitungen von der restlichen Fläche getrennt waren, kaum noch genutzt (BALLASUS & SOSSINKA 1997; SOSSINKA 2000). Dieses Phänomen ist generell auch für 380-kV-Freileitungen anzunehmen, die in Habitaten rastender Vögel errichtet werden. Bei Untersuchungen in der Niederlausitz, Brandenburg, wurde bei rastenden Gänsen, Kiebitzen, Goldregenpfeifern, Kornweihen, Merlinen und Raufußbussarden ein deutliches Meideverhalten gegenüber einer 380-kV-Freileitungstrasse festgestellt (MÖCKEL & WIESNER 2007, S. 37-38).

Durch den „Kammerungseffekt“ (RICHARZ 1998 S. 157) von Leitungstrassen können je nach Art wichtige Nahrungsflächen entwertet werden. Nach BORBACH-JAENE (2002) entwertet eine lineare Störquelle auf einer Länge von 1 km bei Randlage mehrere Hektar Nahrungsfläche. Ein nur um 10 m größerer Abstand der Vögel zur Trasse führt bei gleicher Streckenlänge zu einer Entwertung von einem weiteren Hektar. Zerschneidet die Struktur eine Nahrungsfläche, so verdoppelt sich dieser Wert. Dies ist bei Gänsen, Schwänen und einigen Entenarten insofern kritisch zu beurteilen, da für diese Vögel „aufgrund ihrer herbivoren Ernährungsweise Fläche gleich Nahrungsangebot“ (BORBACH-JAENE 2002) bedeutet.

Auch für Rastvögel wie Kraniche, die in ihren traditionellen Herbstrastgebieten zwischen Schlafgewässer und Nahrungsfläche Strecken von bis zu über 20 km zu-

rücklegen (agnl - ARBEITSGRUPPE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE 2006), bedeuten Freileitungen nicht nur ein erhöhtes Kollisionsrisiko, sondern auch eine Reduzierung des nutzbaren Raumes. Dadurch wird das Angebot an Ausweichmöglichkeiten bei Störungen eingeschränkt, wodurch sich die Störanfälligkeit insgesamt erhöht (agnl - ARBEITSGRUPPE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE 2006).

3.2.3.6 Flächenkonfliktpotenziale für die Avifauna

Aus den in den Abschnitten 3.2.3.1 bis 3.2.3.3 dargestellten Konfliktpotenzialen durch Draht- oder Mastenanflug, Stromschlag und Habitatbeeinträchtigung wurden zwecks Operationalisierung für die vorgreifende Planung in der nachfolgenden Tabelle Flächenkategorien mit besonders hohen Konfliktpotenzialen zusammengefasst. Dabei wird unterschieden, ob es sich um Planungsvorhaben im Tiefland (T) oder im Mittelgebirge (M) handelt, da sich diesbezüglich die Konfliktpotenziale leicht unterscheiden.

Tabelle 14: Sehr hohe Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen

FLÄCHENKATEGORIE	BESCHREIBUNG	RAUMBEZUG
EU-Vogelschutzgebiet	Brut-, Nahrungs-, Rast- oder Zuggebiete von seltenen bzw. bedrohten Arten (Anhang I VSchRL)	T,M
RAMSAR-Gebiet	Brut-, Nahrungs-, Rast- oder Zuggebiete von seltenen bzw. bedrohten Arten (Anhang I VSchRL)	T,M
Brutreviere kollisionsgefährdeter Großvögel mit seltenem / bedrohten Vorkommen (Anhang I VSchRL)	insb. Brutreviere von Schwarzstorch, Uhu, Seeadler, Kranich, Brutkolonien von Löffler, Schwarzkopfmöwe und ggf. Seeschwalben	T,M
Schwerpunkträume kollisionsgefährdeter Wiesenbrüter (teilweise Anhang I VSchRL)	insb. Brutreviere von Kiebitz, Bekassine, Rot-schenkel, Großer Brachvogel, Bekassine, Kampfläufer, Wachtelkönig	T
Flussmündungen im Gezeitenbereich	Zugtrichter und Nahrungsfläche insb. für durchziehende Limikolen, Enten und Gänse	T
Etablierte Schlafgewässer kollisionsgefährdeter Großvögel mit seltenem / bedrohten Vorkommen (Anhang I VSchRL), sofern außerhalb von EUV/RAMSAR-Gebieten	Insb. Schlafgewässer von Kranich, Nonnen-gans, Sing- und Zwergschwan	T
Etablierte Nahrungsflächen kollisionsgefährdeter Rastvögel mit seltenem / bedrohten Vorkommen (Anhang I VSchRL), sofern außerhalb von EUV/RAMSAR-Gebieten	Etablierte Grünland-Äsungsflächen von insb. überwinternden Sing- und Zwergschwänen, Nahrungsflächen von insb. rastenden Goldre-genpfeifern in den Marschen	T

Legende: T: Tiefland, M: Mittelgebirge

Tabelle 15: Hohe Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen.

FLÄCHENKATEGORIE	BESCHREIBUNG	RAUMBEZUG
Küstenstreifen	Leitlinie und Rastgebiet für ziehende Land- und Wasservögel	T
Fließgewässer	Leitlinie und Nahrungsfläche für ziehende Land- und Wasservögel	T,M
Nahrungs- und Rastflächen seltener / bedrohter Großvogelarten (Anhang I VSchRL),	Bspw. Nahrungsflächen von Graugänsen	T,M
Etablierte Schlafgewässer kollisionsgefährdeter Vogelarten mit häufigem Vorkommen	Schlafgewässer von überwinterten Reiher- und Tafelenten, Grau-, Bläss- und Saatgänsen	T,M
Brutkolonien und -plätze kollisionsgefährdeter Großvögel mit häufigem Vorkommen	Insb. Brutkolonien von Graureiher, Kormoran und Möwen (mit Ausnahme Schwarzkopfmöwe)	T,M
Großräumige Brut- und Nahrungshabitatkomplexe seltener / bedrohter Großvogelarten (Anhang I VSchRL), (Scheuchwirkung, Segmentierung)	Großräumige Lebensraumkomplexe von insb. Schwarz- und Weißstorch, Schreiadler, Seeadler	T,M
Bruthabitate seltener / bedrohter Vogelarten (teilweise Anhang I VSchRL) (Scheuchwirkung, Vergrämung)	Lebensräume insb. von Wiesenbrütern	T,M

Legende: T: Tiefland, M: Mittelgebirge

Tabelle 16: Erhöhte Flächenkonflikte mit Avifauna bei Bau und Betrieb von Freileitungen

FLÄCHENKATEGORIE	BESCHREIBUNG	RAUMBEZUG
Nahrungs- und Rastflächen häufiger Vogelarten (Habitatsegmentierung, Scheuchwirkung oder Vergrämung)	insb. Nahrungsflächen von Grau- und Blässgänsen	T,M
Zeitweilige Nahrungsflächen kollisionsgefährdeter Vögel mit häufigem bis seltenem / bedrohten Vorkommen (teilweise Anhang I VSchRL)	Äcker und anderen Flächen, deren Nahrungsangebot sich in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsform verändert (insb. für Kranich, nordische Schwäne und Gänse, Kiebitze, Goldregenpfeifer)	T,M
Talzüge als Leitlinien des Vogelzuges	Leitlinien für ziehende Landvögel	M

Legende: T: Tiefland, M: Mittelgebirge

3.2.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Insbesondere bei den Mastbauarbeiten ist darauf zu achten, dass schutzwürdige und wenig mobile Tiere geschont werden, bspw. durch Absammlung und Umsiedelung. Verletzungen oder Tötungen lassen sich in der Regel dadurch vermeiden, dass die potenziellen Habitate rechtzeitig auf das Vorkommen schutzwürdiger Arten geprüft werden. Durch die Feinplatzierung der Maststandorte können so Standorte gemieden werden, die wichtige Lebensraumfunktionen, v.a. für Käferarten, Reptilien, Vögel und Landsäugetiere, erfüllen.

Im Vergleich zu Erdkabeltrassen wird sich bei im Offenland verlegten Freileitungen voraussichtlich in geringerer Anzahl die Notwendigkeit von Ausgleichsmaßnahmen ergeben. Da die Eingriffe in den Boden auf die Mastfundamente (ca. 50 qm) beschränkt sind, ist zu erwarten, dass sich bei Habitatverlusten die ökologische Funktionsfähigkeit häufig im räumlichen Zusammenhang zu den Maststandorten aufrechterhalten lässt, so dass keine vorgezogenen Ausgleichsmaßnahmen notwendig werden. Bei Inanspruchnahme ausgedehnter Forstflächen kehrt sich dieses Verhältnis allerdings aufgrund der für Freileitungen notwendiger Weise breiteren Schneisen um.

3.2.4.1 Amphibien und Reptilien

Die Maßnahmen zur Vermeidung von Tierverlusten an Amphibien und Reptilien wurden in Abschn. 2.2.4 beschrieben und gelten für Freileitungen entsprechend. An Waldstandorten ist aufgrund der freizuschlagenden breiteren Schneisen bei Freileitungen mit erhöhten Verminderungsmaßnahmen, ggf. Ausgleichsmaßnahmen zu rechnen. Im Offenland ist es aufgrund der im Wesentlichen nur punktuellen Eingriffe an den Maststandorten von Freileitungen umgekehrt.

Amphibienleiteinrichtungen und Fanggefäße sind lediglich in Baustellennähe zu errichten bzw. aufzustellen. Gewässer werden in der Regel von den Baumaßnahmen ausgespart und dienen nicht als Maststandorte, daher müssen in der Regel keine Maßnahmen zur Erhaltung des Wasserstandes und der Uferstruktur ergriffen werden.

Zur Vermeidung einer Beeinträchtigung von Reptilien ist im Rahmen der Feintrasenplanung darauf zu achten, dass die von Reptilien beanspruchten Lebensräume umgangen werden und nicht durch Mastfundamente zerstört werden.

3.2.4.2 Fledermäuse

Beeinträchtigungen von Fledermäusen können durch vorangestellte Untersuchungen vermieden und vermindert werden.

Mit Waldüberspannungen kann vermieden werden, dass von Fledermäusen bewohnte Bäume auf breiter Trasse beeinträchtigt werden.

Da die Störung von Fledermäusen in den meisten Fällen Schneisenkahlschlag die Vernichtung von Habitatbäumen / Quartierbäumen (Sommer-, Wochen- oder Winterstuben) beinhaltet, sollten, soweit möglich, Altholzbestände geschont (ERM 2010, S. C 4.2-93) und ggf. Ersatzhabitate im Rahmen vorgezogener Ausgleichsmaßnahmen bereitgestellt werden. Über Bauzeitenregelungen können ggf. aktiv genutzte Wochenstuben geschont werden.

3.2.4.3 Geschützte Landsäugetiere

Zur Vermeidung von Verlusten geschützter Landtiere lassen sich neben einer sorgfältigen Voruntersuchung und einer ggf. optimierten Trassenführung auch die anderen in Absch. 2.2.4.4 genannten Maßnahmen durchführen. Dazu zählen vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen, großräumige Kompensationsmaßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustandes sowie eine vorsorgliche Abzäunung der Baustelle (vgl. Absch. 2.2.4.4).

Bei der Errichtung von Freileitungen bleibt mehr als bei einer Erdkabeltrasse ein gewisser Spielraum zur Wahl der punktuellen Maststandorte. Dieser sollte besonders beim Auftreten von kleinräumigen schutzwürdigen Lebensraumtypen im Bereich der Trassenführung ausgenutzt und der Standort möglichst konfliktfrei gewählt werden. In Bereichen mit Wuchshöhenbeschränkung bietet sich die niederwaldartige Nutzung von Waldbiotopen an (ERM 2010, S. C4.2-161).

In waldarmen Regionen sollte eine Trassenführung durch Wälder möglichst vermieden werden. Ist dies nicht möglich, können Trennwirkungen für waldbewohnende Tiere und Windbruchgefahr durch ein sog. Trassenmanagement, d.h. eine naturnahe gestufte Waldrandgestaltung und die Pflanzung von Büschen im Nahbereich der Leitung reduziert werden. Hierzu bedarf es während des Betriebs allerdings regelmäßiger Kontrollen und Pflegemaßnahmen.

3.2.4.4 Avifauna

Über Bauzeitenregelungen kann ggf. vermieden werden, dass lärm- und störungsempfindliche Vogelarten in sensiblen Entwicklungsstadien bzw. Lebenszyklen (Brut, Aufzucht, Mauser) durch Bauarbeiten für Freileitungen beeinträchtigt werden (vgl. Abschn. 3.2.3.3).

Vogelschlag

Bei Trassenabschnitten mit hoher bzw. erhöhter Kollisionsgefahr sollten optische Markierungen angebracht werden. Da das Erdseil aufgrund seiner oft schlechten Sichtbarkeit für die meisten Kollisionen verantwortlich ist, sind Markierungen am Erdseil die erste Wahl. Vogelschutzmarkierungen sollten aus technischer Sicht möglichst leicht sein und das Seil schonen - für den Vogelschutz steht Auffälligkeit im Vordergrund. Vornehmlich werden heute flexible Kunststoffbänder oder feste, abstehende Kunststoffstäbe als Markierungen verwendet. Für die nachträgliche Sicherung von Leitungsabschnitten hat sich das Anbringen von Markern mit Schwarz-Weiß-Blinkeffekten bewährt, die das Erkennen der Leitungen - insbesondere des Erdseils - erleichtern und die auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen noch wahrgenommen werden können. Untersuchungen aus den Niederlanden zeigen, dass dadurch mit einer Reduzierung des Vogelschlagrisikos um bis zu 90 %

zu rechnen ist (KOOPS 1997). In Spanien und Großbritannien hat sich der Einsatz farbiger *Flight Diverters*, etwa 30-100 cm langer spiralförmiger Markierungen, die auf die Seile gezogen werden, bewährt (FROST 2008; JANSSE & FERRER 1997). In Deutschland hat sich u. a. die RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH auf entsprechende Dienstleistungen spezialisiert.

Da tagsüber die meisten Kollisionen nicht mit den Leiterseilen, sondern mit dem Erdseil stattfinden, sollte aus ornithologischer Sicht der Abstand zwischen Erdseil und Leiterseilen möglichst gering sein. Dieser Anspruch darf jedoch mit der Blitzschutzwirkung des Erdseils in Konflikt stehen. Das Kollisionsrisiko während der Dunkelphase kann alternativ durch Beleuchtung, Reflektoren und akustische Signale gesenkt werden (HOERSCHELMANN et al. 1988; KAHLERT et al. 2005).

Stromschlag

Die Gefährdung von Vögeln durch Stromschlag an Höchstspannungsleitungen wird aufgrund großer Abstände zwischen Leiterseilen untereinander sowie dem Mast in der Literatur als sehr gering eingestuft. Weitere Maßnahmen zur Minimierung des Restrisikos sind im Hinblick auf Stromschlag nicht notwendig. Diese Einschätzung wird auch indirekt durch das Bundesnaturschutzgesetz belegt, das in § 41 Vorschriften zum Vogelschutz für Mittelspannungsleitungen anführt, aber nicht für Hoch- oder Höchstspannungsleitungen. Danach sind an bestehenden Masten und technischen Bauteilen von Mittelspannungsleitungen mit hoher Gefährdung von Vögeln bis zum 31. Dezember 2012 Maßnahmen durchzuführen, so dass Vögel gegen Stromschlag geschützt sind.

Beeinträchtigung von Habitaten

Eine für Vogelschutzbelange optimierte Trassenplanung kann betriebsbedingte Beeinträchtigungen von Brut-, Nahrungs- und Rasthabitaten sowie Wanderkorridoren von Zugvögeln deutlich mindern. Vermeidungspotenziale liegen im Wesentlichen in der Meidung avifaunistischer Schwerpunktbereiche. Die Beeinträchtigung des Erhaltungszustandes der lokalen Populationen betroffener Vogelarten kann auf diese Weise weitgehend vermieden werden. Randvorkommen und Restbestände sind besonders sensibel gegenüber Beeinträchtigungen.

Störende Auswirkungen auf Vögel lassen sich beim Bau von Höchstspannungsleitungen besonders effektiv durch Bauzeitenfenster regeln. Das Zeitfenster wird zu meist durch die störempfindliche Brutzeit von März bis Ende August bestimmt. Regional, besonders in der Nähe von Rasthabitaten an Gewässern, sind sensible Zeitabschnitte (bspw. Mauser, Sammelschlafplätze von Wasservögeln im Herbst) zu berücksichtigen. In einigen Landesnaturschutzgesetzen sind von vornherein Sperrzeiten für Rodungsarbeiten festgelegt. So dürfen vom 15. März bis 30. Sep-

tember (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern) oder vom 1. März bis 30. September (Niedersachsen) keine Gehölze beseitigt werden.

3.2.4.5 Geschützte Pflanzen

Durch eine Verschiebung der Maststandorte und eine veränderte Trassenführung lassen sich bekannte Standorte geschützter Pflanzenarten schonen. Falls dies nicht möglich ist, können als vorgezogene Ausgleichsmaßnahme die bedrohten Bestände vor den Bauarbeiten entfernt und an anderer Stelle verpflanzt werden. Das Konfliktpotenzial geschützter Pflanzenarten ist bei der Errichtung von Freileitungen im Offenland auf der Ebene der Entwurfsplanung und Feintrassierung gut eingrenzbar. Bei der Errichtung von Freileitungen in ausgedehnten Waldbeständen ergibt sich im Falle breiter Schneisen ein erheblicher Ausgleichsbedarf.

3.3 Auswirkungen von Freileitungen auf Schutzgebiete und Biotope

3.3.1 Übersicht

Bei 380-kV-Freileitungen sind v.a. folgende Faktoren, die sich bau-, betriebs- oder anlagebedingt auswirken für Biotope relevant (vgl. IBU 2007; ERM 2008; TRANSPower 2010):

- Beeinträchtigung von Vegetation und Habitaten, Änderung von Struktur und Artenspektrum,
- Zeitweilige Beseitigung oder Schädigung von krautiger Vegetation im Bereich der Arbeitsflächen, Zufahrten und Lagerflächen,
- langfristige bzw. dauerhafte Beseitigung von Gehölzen bei der Anlage von Schneisen in Waldbereichen und der Entnahme einzelner Bäume innerhalb linearer Gehölzbestände,
- Bodenentnahme und Bodenverdichtung im Bereich der Mastfundamente,
- zeitweilige Veränderung des Boden-Wasser-Haushalt durch ggf. notwendige Wasserhaltungsmaßnahmen bei Feuchtgebieten,
- dauerhafter Biotopverlust im Bereich der Fundamentköpfe.

Aufgrund der gegenüber einer Erdkabelverlegung geringeren Tiefbauarbeiten sind die direkt auf den Boden bezogenen, baubedingten Auswirkungen weniger schwerwiegend als die bereits grundsätzlich in Abschn. 2.3 besprochenen Eingriffsfolgen. Bei Freileitungen überwiegen jedoch die dauerhaften, anlagebedingten Auswirkungen, die sich mit der Rodung und Schneisenfreihaltung auf eine deutlich größere Fläche erstrecken und die mit der Errichtung von Masten und der Verlegung oberirdischer Leitungen für Mensch und Tier dauerhaft wahrnehmbare Konstruktionen schaffen.

Die dauerhafte Beanspruchung von Schneisen, die als Schutzstreifen dem Schutz von Freileitungen dienen, gilt als die maßgebliche Auswirkung von Freileitungen auf Biotope (TRANSPower 2010, S. 25). Die Breite des Schutzstreifens steht bei Freileitungen in Abhängigkeit zu den Abständen der Masten (Spannfeldlängen). Die freizuhaltende Trassenbreite liegt deutlich über den Anforderungen für Erdkabel (vgl. GEO et al. 2009, S. 104). Dem Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2 zufolge beträgt der Schutzstreifen bei dem üblichen 380-kV-Donaumast ca. 70 m. Bei der 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar geht TRANSPower (2010, S. 26) auch von 40 – 60 m aus. Im Bereich dieser Schutzstreifen können sich Lebensräume drastisch und dauerhaft verändern. Im Bereich der Mastfundamente ist im Falle einer Flächenversiegelung ein vollständiger Lebensraumverlust zu erwarten.

Die im Abschn. 2.3.1 vorgenommene Einstufung des Konfliktpotenzials unterschiedlicher Biotoptypen kann für die Anwendung auf Freileitungen übernommen werden.

3.3.2 Streng geschützte Gebiete

Biotope in streng geschützten Gebieten wie NSG und Nationalparks können i.d.R. als hoch empfindlich gegenüber den oben skizzierten Eingriffen eingestuft werden. Großräumige Vegetationsverluste sind durch Anlage der Schneisen unvermeidbar. Die Tötung von Individuen (§ 44 Abs. 1 Nr.1 BNatSchG) und die Beschädigung/Zerstörung von Lebensstätten (§ 44 Abs. 1 Nr.3 BNatSchG) können dabei voraussichtlich nicht vermieden werden. Darüber hinaus ist baubedingt von Störungen (§ 44 Abs. 1 Nr.2 BNatSchG) besonders bzw. streng geschützter Arten auszugehen, bspw. wenn der Eingriff in der Nähe ganzjährig frequentierter Wasservogellebensräume stattfindet. Da streng geschützte Gebiete häufig letzte Rückzugsmöglichkeiten für solche Arten sind, die außerhalb der Schutzgebiete kaum noch vorkommen, ist es nicht unwahrscheinlich, dass sich durch Störungen während der Bauphase der Erhaltungszustand der lokalen Population einer der betroffenen Arten maßgeblich verschlechtert.

Während der Betriebsphase kann die Tötung von Individuen (§ 44 Abs. 1 Nr.1 BNatSchG) zwar durch entspr. Maßnahmen (bspw. Flight-Diverteres) gemindert, allerdings nicht vollständig vermieden werden. Die von § 44 Abs. 1 Nr.1 BNatSchG geforderte ökologische Funktion der vom Vorhaben betroffenen Lebensstätte könnte in hohem Maße gefährdet sein.

Die nur kurz skizzierten Zusammenhänge machen zusammenfassend deutlich, dass die Planung von Freileitungen der Höchstspannungsebene den angestrebten Schutz der Arten und Lebensräume streng geschützter Gebiete erheblich gefährdet. Dem Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen (2008 S. 149) zufolge müssen diese Gebiete ohnehin unter rechtlichen Gesichtspunkten frühzeitig von einer Trassierung ausgeschlossen werden, weil Naturschutzgebiete und Natura-2000-Gebiete bereits

aufgrund fachspezifischer naturschutzrechtlicher Regelungen so stark geschützt sein, dass in diesen Räumen die Verlegung von Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene grundsätzlich nicht in Betracht kommt.

3.3.3 Schwächer geschützte Gebiete

Auch die Schutzgüter in schwächer geschützten Gebieten wie LSG sind i.d.R. als hoch empfindlich gegenüber Eingriffen durch Freileitungen einzustufen. Großräumige Vegetationsverluste sind auch hier bei der Anlage der Schneisen unvermeidbar. Grundsätzlich dominieren die dauerhaft visuell wahrnehmbaren anlagebedingten Wirkungen gegenüber den baubedingten. Durch dauerhaft wahrnehmbare Konstruktionen und breite Schutzstreifen verbleibt eine Beeinträchtigung schützenswerter Landschaftsteile u. Lebensräume, die trotz möglicher Minderungsmaßnahmen in der Regel weiterhin als erheblich eingeschätzt wird. Auch diese Gebiete sollten von einer Trassierung frühzeitig ausgeschlossen werden.

Um Konflikte durch Beeinträchtigung von Landschaftsschutzgebieten infolge neuer Freileitungen der Hoch- und Höchstspannungsebene zu vermeiden, formuliert das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen (2008 S. 41 ff.) explizit ein Querungsverbot zum Schutz dieser Gebiete als Ziel. Diesen Gebieten wird eine besondere Funktion für das Landschaftserleben sowie für Freizeit und Erholung in der Landschaft zugesprochen. Freileitungen brächten andererseits durch die Höhe der Masten und deren Zahl bzw. Aufstellung eine durchgängige und nicht vermeidbare Belastung des Landschaftsbildes.

3.3.4 Gehölzbiotope, Feldgehölze und lineare Gehölzbiotope

Gehölzbiotope wie Laub(Misch)- oder Nadel(Misch)wälder gelten als besonders schützenswerte Biotope (vgl. Abschn. 2.3.1) und sind aufgrund der für der Anlage von Schutzstreifen notwendigen Rodungen besonders gefährdet. Die Errichtung einer Freileitung in einem geschlossenen Waldbereich geht mit Kahlschlag und mit einem somit erheblichen Vegetationsverlust einher (TRANSPower 2010, S. 43). Langfristig sind standortbezogen ABERLE UND PARTL (2005, S. 97) und TRANSPower (2010, S.68) zufolge sowohl im Bereich des Schutzstreifens als auch im angrenzenden Waldbestand weitreichende Standortveränderungen und Destabilisierungserscheinungen zu erwarten. Aufgrund der ungehinderten Sonneneinstrahlung auf die Schlagfläche und auf das Bestandesinnere sind z.B. feinrindige Baumarten (z.B. Buche und Ahorn) durch Rindenbrand gefährdet. Eine verstärkte Austrocknung der Bäume und eine Zunahme von Schadpilzen und Schadinsekten können die Folge sein. Als weitere Auswirkungen werden Austrocknung des Oberbodens bzw. Bodenerosion und daraus resultierende Aushagerungserscheinungen im angrenzenden Waldbestand, insbe-

sondere bei Fichtenmonokulturen, diskutiert (ABERLE/PARTL 2006, S. 98 zit. nach FÜHRER 2001). Unter Berücksichtigung von Aufwuchsbeschränkungen ist eine reduzierte Wiederbewaldung im Bereich der Trassen möglich. Bei regelmäßiger Trassenpflege und intensiver forstlicher Nutzung können niederwaldähnliche Strukturen aufgebaut werden (vgl. IBU 2007, S. 257; TRANSPower 2010, S. 43). Der Eingriff in Gehölzbiotope ist besonders schwerwiegend, wenn strukturreiche und naturnahe Laubholzbestände betroffen sind (vgl. IBU 2007, S. 258).

Feldgehölze und lineare Gehölzbiotope sind in ähnlicher Weise negativ vom Bau von Freileitungen betroffen. Da der betroffene Gehölzanteil im Vergleich mit Waldbiotopen größer ist, sind Auswirkungen wie Gehölzverlust und Auswuchsbeschränkungen bei Feldgehölzen stärker zu gewichten. In den durch Anlage sowie Baumaßnahmen entstehenden Lücken gehen dauerhaft Lebensraumfunktionen wie z.B. spezielle Brutstätten verloren (IBU 2007, S. 259).

3.3.5 Feuchtgebietsbiotope, Acker- und Grünlandbiotope

Feuchtgebietsbiotope wie Moorgebiete (Hoch- und Niedermoore), Sümpfe und Auengebiete werden als sehr sensibel und schutzwürdig eingestuft, weisen somit eine hohe naturschutzfachliche Bedeutung auf (vgl. Abschn. 2.3.1). Naturnahe Moorböden gelten in ihrer Struktur als irreversibel vulnerabel bzw. nicht renaturierbar (GEO et al. 2009, S. 90). Die Errichtung von Masten hat im Bereich von Sümpfen und Niedermooren damit erhebliche und nachhaltige Beeinträchtigungen zur Folge (vgl. IBU 2007, S. 261). Intakte Moorgebiete sollten nach Möglichkeit schon frühzeitig in der Trassenplanung gemieden, im unvermeidlichen Fall großräumig überspannt werden.

Landwirtschaftliche Nutzflächen wie Ackerbiotope gelten, soweit diese intensiv genutzt werden, bei der Errichtung von Freileitungen als unproblematisch. Da bei diesen Ackerflächen das Lebensraumpotenzial relativ gering ist, ist der Flächenverlust im Bereich der Mastfußstandorte oftmals als unerheblich einzustufen (vgl. IBU 2007, S. 262). Im Bereich der Mastfußstandorte können sich kleinräumig neue Strukturelemente bzw. „Mastfußbiotope“ entwickeln, die von der Fauna als neues Rückzugsgebiet genutzt werden können. (vgl. IBU 2007, S. 263). Aufgrund der Abstände zwischen den Mastfüßen und der jeweils geringen Flächenareale ist ein genetischer Austausch dieser Populationen aber nur wenigen Arten möglich.

Extensive Grünlandbiotope gelten als artenreich (vgl. Abschn. 2.3) und können punktuell durch die Errichtung von Freileitungsmasten in ihrer Lebensraumfunktion beeinträchtigt werden. Die Anlage von Freileitungen auf intensiv genutztem Grünland ist i. Allg. eher verträglich und kann durch Etablierung von Altgrasbestand am Mast zur Entstehung ökologisch funktionsträchtiger Strukturelemente führen (IBU 2007, S. 262). Auch ABERLE/PARTL (2005 S. 132) sowie VATTENFALL (2005) heben als mögliche positive Auswirkung an Maststandorten das Entstehen von „Ersatzbioto-

pen“ bzw. "Mastfußbiotopen“ hervor, die in der derzeitigen Kulturlandschaft als rückläufig gelten sollen.

In ähnlicher Weise wird bei waldquerenden Trassenvarianten den bau- und anlagebedingten erheblichen Eingriffen eine mögliche Verbesserung der ökologischen Strukturvielfalt gegenübergestellt. So kann es z.B. im Bereich der Schutzstreifen zur Einwanderung typischer Offenlandbewohner, bspw. Kleinsäuger und Wirbelloser kommen. Die Entwicklung eines Biotopverbundes könnte gefördert werden. Ebenso ist aber auch die Vertreibung schutzbedürftiger Arten möglich. Die sich für die Lebensraumqualität ergebenden Veränderungen können letztlich nur standortspezifisch bewertet werden.

3.3.6 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Freileitungen sollten naturnahe Wälder, Feuchtgebiete, Gewässer- und Auenbiotope möglichst nicht tangieren (DEUTSCHE UMWELTHILFE 2010, S. 8; LAUKHUF 2007, S. 19). Im Rahmen der UVS für die 380-kV-Leitung Wahle-Mecklar (ERM 2010, S. C3-9) wird die Querung von Waldbeständen und wertvollen Gebieten für Natur und Landschaft (Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Natura-2000-Gebiete u.a) auf Bereiche beschränkt, in denen „eine entsprechende Trassenführung auf Grund der großräumigen Trassenbündelung oder zur Vermeidung anderer erheblicher Raumkonflikte unumgänglich ist.“ Grundsätzlich besteht bei der Wahl der Maststandorte auf Grund der recht hohen Flexibilität (Überspannungen von 300 m – 450 m Feldlänge) die Möglichkeit, wertvolle Biotope zu umgehen (ERM 2010).

Wertvolle Gehölzstandorte können ggf. mit Hilfe höherer Masten überspannt werden. Muss ein Schutzstreifen durch Gehölze angelegt werden, so ist grundsätzlich ein Zurückschneiden von Bäumen einer Baumentnahme vorzuziehen. Ist dies nicht möglich, so sind bei der Entfernung von Gehölzen die Wurzelstöcke im Boden zu belassen (ERM 2010).

Es wird empfohlen, ein ökologisches Trassenmanagement im Sinne des "Plan N" der DEUTSCHEN UMWELTHILFE (2010) durchzuführen. Für die beim Bau abgängigen Waldflächen (Waldkahlfächen) wird im Allg. eine Wiederaufforstung im Verhältnis 1:1 gefordert (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.5.6.2.1.). Die Maßnahmen der naturschutzrechtlichen und forstrechtlichen Kompensation können zumeist in der Umgebung des Eingriffs realisiert werden (ERM 2010, S. C6-7).

3.4 Auswirkungen von Freileitungen auf den Boden

3.4.1 Übersicht

Gegenüber der Verlegung von Erdkabeln muss bei Freileitungen lediglich an den Maststandorten aktiv in die Bodenhorizonte eingegriffen werden, wobei es im Offenland nur zu punktuellen Funktionsverlusten kommt. Zwischen den Masten bleibt der Boden im Offenland auf ca. 400 m Länge und damit nahezu auf dem gesamten Trassenverlauf ungestört (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.3). In waldreichen Gebieten kann die Anlage einer breiten Schneise allerdings zu großräumigen Bodenveränderungen, bspw. durch Austrocknung, führen. Die Ausdehnung der Wirkungen auf den Boden erstrecken sich in Bau- und Betriebsphase somit in jedem Fall auf den Nahbereich der Masten (LAUKHUF 2007, S. 19), im Einzelfall auf die anzulegende Schneise.

Als Fundamente kommen in Abhängigkeit des vorherrschenden Bodenprofils entweder gerammte Stahlrohre oder aus Fertigbeton gegossene Stufen- oder Plattenfundamente in Betracht (vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.3). Sowohl die natürlichen Bodenfunktionen als auch die Archivfunktionen des Bodens können dabei gestört werden. Trotz vergleichsweise geringer Beeinträchtigungen ist auch bei Freileitungen der Bodenschutz gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) in den räumlichen Planungsprozessen zu berücksichtigen. Falls schutzwürdige Böden (vgl. Abschn. 2.4) von dem Bau einer Freileitung betroffen sind, kann von einem hohen Konfliktpotenzial ausgegangen werden. Eine Inanspruchnahme dieser Böden ist möglichst zu vermeiden.

U.a. beschreiben BINE (1990), BRAKELMANN (2004), GEO et al. (2009), LOSCH/NAKE (1998), ECOFYS (2008), FORWIND (2005), JARASS ET. AL. (1996), NIEDERSÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (2007) und VATTENFALL (2005) Funktionsverlust, Versiegelung, Verdichtung und Bodeneintrag als wesentliche Auswirkungen von Freileitungen auf den Boden.

3.4.2 Funktionsverlust, Versiegelung, Austrocknung und Verdichtung

Im Bereich der betonierten Mastsockel kommt es auf den versiegelten Flächen zu einem vollständigen Verlust der Lebensraum- und Archivfunktionen des Bodens (vgl. IBU 2007, S. 328; GEO et al. 2009, S. 93; JARASS et. al. 1996, S. 21; ERM 2008, S. 6.4-3). Während der Bauphase kann es darüber hinaus aufgrund der Druckbelastung des Baustellenverkehrs zu kleinräumigen Verdichtungen des Bodens und damit zu nachteiligen Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum kommen (vgl. Abschn. 2.4.3).

Mögliche Bodenveränderungen im Bereich einer Schneise, bspw. durch Aushagerung ehemals baumbestandener Böden, hängen von den jeweiligen Bodenverhältnissen ab und können nur standörtlich beschrieben und bewertet werden.

3.4.3 Bodeneintrag

Witterungsbedingt kann es bei Freileitungen zu Stoffeinträgen in den Bodenhaushalt kommen. Bis dato waren mit blei- oder zinkhaltigen Korrosionsschutzanstrichen erhebliche Bodenbelastungen verbunden. Seit einigen Jahren werden jedoch feuerverzinkte und damit umweltfreundlichere Masten eingesetzt (vgl. BINE 1990, S. 2; GEO et al. 2009, S. 17 zit. nach MARTI 2001).

An verschiedenen Pflanzen wurden unmittelbar unter Hochspannungsmasten erhöhte Schwermetallwerte gemessen (BINE 1990, S. 2). Dies korrespondiert mit höheren Zinkwerten, die im Bereich des Mastfußes sowohl bei 110-kV-Masten als auch bei 380-kV-Masten gemessen wurden. Der Niederschlag des schadstoffbelasteten sogenannten "Sauren Regens" führt offenbar zu einer stärkeren Korrosionsanfälligkeit der Masten und zu einer Auswaschung der zinkhaltigen Grundierungsschicht an den Masten (BINE 1990, S. 3). Die Konzentration des aufgefundenen Zinkeintrags überschreitet JARASS et al. (1996, S. 21 zit. nach JARASS et al. 1989) zufolge deutlich den allgemein gültigen Richtwert von 300 ppm und ist bis zu einem Abstand von 50 m um die Masten herum nachweisbar.

Auch im Rahmen von Wartungen, die in regelmäßigen Abständen von 25 bis 30 Jahren durchgeführt werden, kann es bei unsachgemäßer Durchführung der Entrostungs- und Streifarbeiten zu Schadstoffeinträgen in den Boden kommen (vgl. GEO et al. 2009, S. 23; IBU 2007, S. 328; vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 6.1.1; BRAKELMANN 2004, S. 34).

3.4.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Irreversible Bodenschäden in Folge des Baus von Freileitungen können durch eine frühzeitige bodenkundliche Begleitung vermieden werden (vgl. BLUM 2007, S. 140; RICHER/MÜHLTHALER 2002, S. 13). Beeinträchtigungen des Schutzgutes Boden sind zumeist ausgleichbar oder ersetzbar (vgl. Abschn. 2.4.9). Bodenverluste durch Versiegelung lassen sich bspw. durch Entsiegelungsmaßnahmen ausgleichen. Die Verbesserung von Teilfunktionen, bspw. der Herstellung eines natürlichen Bodenwasserhaushaltes oder die Extensivierung der Bodennutzung (z.B. die Umwandlung von Acker in Grünland, die Extensivierung von Grünland, die Entwicklung von Ruderalfluren oder die Anlage dauerhafter Gehölzbestände), ist gleichermaßen möglich (ERM 2010, S C6-8).

Einem sich negativ auf den Boden auswirkenden Eintrag von Fremdstoffen (bei Bau, Wartung und Reparatur) kann durch die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen im Umgang mit wasser- und bodengefährdenden Stoffen vorgebeugt werden.

3.5 Auswirkungen von Freileitungen auf Gewässer

3.5.1 Auswirkungen von Freileitungen auf Grundwasser

Bau- und anlagebedingt kann es zu kleinräumigen und lokalen Auswirkungen an den Maststandorten von Freileitungen auf das Grundwasser kommen. In bewaldeten Gebieten kann die Anlage breiter Schneisen Auswirkungen auf die Wasserhaltefähigkeit des Bodens und das Grundwasserdargebot haben. Folgende Effekte sind beim Bau von Freileitungen möglich (vgl. ERM 2008; TRANSPower 2010):

- dauerhafte Veränderung von Grundwasserleitern und der Deckschicht durch Gründungsmaßnahmen,
- dauerhafte Grundwasserabsenkung durch Veränderung des Grundwasserdargebots,
- temporäre Verunreinigung von Grundwasser bei bauzeitlicher Freilegung des Grundwassers,
- wartungsbedingte Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit, relevant v.a. in Wasserschutzgebieten.

Für die Einstufung des Konfliktpotenzials im Hinblick auf Eingriffe in den Grundwasserhaushalt beim Bau von Freileitungen, soll im Folgenden die von IBU (2007) zusammengestellte Übersicht der Empfindlichkeit unterschiedlicher Grundwassersituationen herangezogen werden. Entscheidend sind hierbei die hydrologischen Verhältnisse, die Flurabstände und der Aufbau der Versickerungszonen (vgl. Tabelle 17). Grundwasserstandorte mit einer sehr hohen und hohen Empfindlichkeit sollten bereits in der Planungsphase berücksichtigt und gemieden werden.

Im Falle eines Aushubs von Baugruben für die benötigten Mastfundamente (bei Rammfahlgründung vermeidbar, vgl. Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.3) kann es zu einem Aufschluss des oberflächennahen Grundwassers kommen, was in einer temporären Grundwasserabsenkung resultieren kann (vgl. ERM 2008, S. 6.5-24). Eine nachhaltige Auswirkung auf das Grundwasservorkommen ist dadurch im Regelfall jedoch nicht zu erwarten. Als mögliche Auswirkung auf das Schutzgut Grundwasser sind Schadstoffeinträge an Maststandorten zu beachten. Während der Bauphase kann es bspw. zu einem Eintrag von Schmier- und Reinigungsmitteln sowie von Farben und Treibstoff in den Boden und in das Grundwasser kommen (vgl. IBU 2007, S. 334). Bei einer nicht sachgemäßen Erneuerung

des Korrosionsschutzes kann dies mit schwermetallhaltigen Farbstoffen der Fall sein (vgl. GEO et al. 2009, S. 87). Die ausgetretene Menge, der Flurabstand des obersten Grundwasserleiters und die Filterwirkung der Versickerung sind dabei ausschlaggebend für die tatsächliche Menge des Schadstoffeintrages in das Grundwasser.

Tabelle 17: Bewertung der Empfindlichkeit des Grundwassers (nach IBU 2007, S. 191)

KATEGORIE	BESCHREIBUNG	
Sehr hohe Empfindlichkeit	Ungünstige hydrologische Verhältnisse	Flurabstände von < 2 m bei vorwiegend sandigem Aufbau der Versickerungszone (Anteil bindiger Bildungen < 20 %)
Hohe Empfindlichkeit	Ungünstige hydrologische Verhältnisse	Flurabstände von < 2 m bis 5 m bei sandig ausgebildeter bzw. wechselhaft aufgebauter Versickerungszone
		Flurabstände von < 2 m bei vorwiegend bindigem Aufbau der Versickerungszone (Anteil bindiger Bildungen 20 bis 80 %)
Mittlere Empfindlichkeit	Relativ günstige hydrologische Verhältnisse	Flurabstände von > 5 bis > 10 m bei ungespannten Grundwasserverhältnissen sowie sandig ausgebildeter bzw. wechselhaft aufgebauter Versickerungszone (Anteil bindiger Bildungen < 20 %)
		Flurabstände von 2 m bis 10 m bei vorwiegend bindigem Aufbau der Versickerungszone (Anteil bindiger Bildungen 20 bis < 80 %) und Mächtigkeit der Deckschicht von 5 bis 10 m
Geringe Empfindlichkeit	Günstige hydrologische Verhältnisse	Flurabstände von > 10 m bei ungespannten Grundwasserverhältnissen sowie vorwiegend bindigem Aufbau der Deckschichten (Anteil bindiger Bildungen 20 bis 80 %) bzw. Torfe und Mächtigkeit der Grundwasserabdeckung von > 10 m
		Flurabstände von > 5 m bei gespannten Grundwasserverhältnissen (Anteil bindiger Bildungen > 80 % bzw. Torfe)

Eine mögliche Folge der Versiegelung im Bereich der Mastfundamente ist eine geringe Verminderung der Grundwasserneubildungsrate. Im Rahmen der UVS des Planfeststellungsverfahrens für die 380-kV-Leitung Krümmel-Görries (sog. Windsammelschiene) (vgl. IBU 2007, S. 334) wurden darüber hinaus kleinräumige Veränderungen der Grundwasserströme prognostiziert. Aufgrund der geringen Versiegelungsfläche dürften diese Veränderungen jedoch im Normalfall keine nach-

haltige Wirkung auf die Grundwasserdynamik haben (vgl. IBU 2007, S. 334). Anhaltende Veränderungen der Grundwasserströmungen sind v.a. deswegen nicht zu erwarten, weil das Wasser die geplanten Fundamente umströmen kann (vgl. ERM 2008, S. 6.5-25). IBU (vgl. 2007, S. 334) und ERM (vgl. 2008, S. 6.5-26) zufolge sind bei ordnungsgemäßigem Bau sowie ordnungsgemäßer Anlage und Betrieb einer Freileitung keine nachhaltigen bzw. schwerwiegenden Auswirkungen des Grundwasser zu erwarten.

Mögliche Veränderungen des Grundwasserdargebots im Bereich einer Schneise, können nur standörtlich beschrieben und bewertet werden.

3.5.2 Auswirkungen von Freileitungen auf Oberflächengewässer

Oberflächengewässer wie z.B. schiffbare Kanäle können von Freileitungen überbrückt werden. Zu beachten ist, dass bei der Überspannung von Oberflächengewässern durch Freileitungen mit Hilfe von hohen Masten angemessene lichte Höhen eingehalten werden müssen (vgl. GEO et al. 2009, S. 123, 223). Zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der Qualität von Oberflächengewässern kommt es bei einem ausreichenden Abstand der Maststandorte zu den Uferbereichen nicht (IBU 2007, S. 336).

3.5.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Im Allgemeinen können Verunreinigungen von Gewässern (z.B. bei Beschichtung der Masten) durch Einhaltung der Regeln und Vorschriften zum Umgang mit wassergefährdenden Betriebsstoffen vermieden werden (ERM 2010). Oberflächengewässer bleiben im Allgemeinen von Baustelleneinrichtungen ausgespart, so dass die Gewässerbereiche unberührt bleiben. In unvermeidlichen Ausnahmefällen wird das Gewässer mit Metallplatten abgedeckt, so dass die Durchgängigkeit und die Vorflutfunktion der Gewässer erhalten bleiben.

3.6 Auswirkungen von Freileitungen auf das Orts- und Landschaftsbild

3.6.1 Auswirkungen während der Bauphase

Der Baustellenbetrieb ist für die Dauer der Bauphase aufgrund von Geräusch- und Abgasemissionen eine Quelle der Beunruhigung, die sich auf den Zufahrtsstraßen sowie in der Umgebung der Baustandorte negativ auf das Landschaftserleben auswirkt. Da zu Maststandorten, die sich abseits von bestehenden Wegen und Straßen befinden, Zufahrten angelegt werden müssen, können sich verschiedentlich Vegetationsschäden ergeben, die über die Dauer der Bauphase hinaus bestehen.

Auf den für den Mastbau benötigten Arbeitsflächen wird Vegetation beschädigt und temporär entfernt. Für den Seilzug werden darüber hinaus Flächen zwischen den Maststandorten als Fahrspur und für die Stellplätze der Winden in Anspruch genommen. Für die Dauer der gesamten Bauphase werden abseits der Trasse sowie für einen kürzeren Zeitraum an den einzelnen Maststandorten Materiallager notwendig, an deren Standorte die Vegetation beseitigt wird und die für die Dauer der Bauphase als Fremdkörper in der Landschaft wahrgenommen werden.

In Siedlungsgebieten wird das Ortsbild in der Bauphase ggf. an Maststandorten durch Baumaßnahmen beeinträchtigt.

3.6.2 Auswirkungen durch Anlage und Betrieb

Die in Deutschland für Höchstspannungsübertragungen verwendeten Masten haben dem Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2 zufolge eine übliche Höhe von 40 m (Einebenenmast) bis 61 m (Tonnenmast). Die übliche Höhe des weithin verbreiteten Donaumastes gibt der Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2 mit etwa 54 m an. Die üblichen Abstände zwischen den Masten betragen 375 m - 400 m. Bei größeren Abständen werden höhere Masten eingesetzt, um den Durchhang zu begrenzen - bei der Elbekreuzung bei Stade bspw. bis zu 227 m Höhe. Die Traversenbreite beträgt von etwa 23 m (Tonnenmast) bis zu 45 m (Einebenenmast), bei einem Donaumast etwa 32 m.

Freileitungsmasten stellen weithin sichtbare Objekte in der Landschaft dar, die visuell im Allgemeinen als störend und in ihrer Reihung als landschaftszerschneidend empfunden werden. Der visuelle Wirkraum ist von der Höhe des jeweiligen Mastes, von seiner Exposition und von umgebenden Strukturen abhängig, die ggf. verschattend wirken.

Auch die Leiterseile werden als naturfernes Element in der Landschaft wahrgenommen. Unter den Leiterseilen und in deren Ausschwenkbereich wird die Trasse von hohen Gehölzen freigehalten. Dadurch entstehen in geschlossenen Gehölzbeständen weithin sichtbare Schneisen. Die übliche Breite beträgt dem Berichtsteil Technik, Teil I, Abschn. 1.3.2.2 zufolge in der Bauphase ca. 70 m - 80 m. TRANSPORTWER (2010 S. 26) geht mit offenbar anderen Masten und kürzeren Spannfeldlängen von 40 m - 60 m aus. In linearen Gehölzbeständen (Baumreihen, Alleen, Baumhecken) entstehen bei der Querung Lücken, die sich negativ auf das Erscheinungsbild dieser Strukturen auswirken. Punktuell lassen sich auch Verluste von landschaftsbildprägenden Einzelbäumen und Baumgruppen nicht vermeiden.

In regelmäßigen Abständen wird die gesamte Trasse der Freileitung per Hubschrauber oder Begehung auf Beschädigungen überprüft. Auch die Masten werden turnusmäßig angefahren. Die durch Lärm- und Abgasemissionen verursachten Störungen sind nur kurzfristig wahrnehmbar und übersteigen im Allgemeinen nur unwesentlich den Pegel der bestehenden Vorbelastungen.

An den Leiterseilen treten in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit sogenannte Korona-Geräusche (Knistern und Brummen) durch elektrische Vorentladungen auf (vgl. Abschn. 3.1.2). Diese Geräusche werden im Allgemeinen als unangenehm empfunden und schränken in den der naturnahen Erholung dienenden Gebieten das Landschaftserleben im unmittelbaren Nahbereich der Leitung ein.

3.6.2.1 Methodik der Ermittlung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen

In Abschn. 2.6 wurden Aufgabenfeld und Problempunkte der Landschaftbildanalyse bereits allgemein umrissen. Aus den dabei vorgestellten Standardmethoden hat sich für die Landschaftsbildanalyse mastenartiger Eingriffe wie Windenergieanlagen und Freileitungstrassen eine besonders eindeutige methodische Linie herausgebildet. Fast alle der heute in Deutschland verwendeten Analysemethoden zur Bewertung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen durch Freileitungen fußen dabei auf einem nutzwertanalytischen Konzept, welches NOHL (1993) unter dem Titel „Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe“ im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen nahezu allen späteren Entwicklungen auf diesem Gebiet nachhaltig zugrunde gelegt hat.

Die Erheblichkeit eines landschaftsästhetischen Eingriffs ergibt sich NOHL zufolge einerseits aus der Intensität eines Eingriffs, andererseits aber auch aus der Sensitivität als Ausdruck der ästhetischen Empfindlichkeit einer Landschaft. Die Empfindlichkeit gegen störende Eingriffe ist umso ausgeprägter, je höher:

- der ästhetische Eigenwert der Landschaft (gebildet aus den Teilkomponenten Vielfalt, Naturnähe und Eigenart) sowie
- visuelle Verletzlichkeit (bzw. Einsehbarkeit) und Schutzwürdigkeit (aufgrund von Natur- und Denkmalschutzwerten) ist.

Der Kern der Nohlschen Arbeit ist ein Verfahrensansatz zur Ermittlung des Umfangs von Kompensationsflächen (in m²), welcher im Anhang 4 näher erläutert wird. Grob zusammengefasst geht es zunächst um eine Unterteilung des potentiell beeinträchtigten Gebiets in unterschiedliche Wirkzonen, sodann um den Abzug sichtverschatteter Bereiche und die Aufgliederung des tatsächlich beeinträchtigten Gebiets in ästhetische Raumeinheiten. Es folgt eine Ermittlung der ästheti-

schen Eigenwerte in den identifizierten Raumeinheiten vor und nach dem Eingriff (nach Grad der Vielfalt, Naturnähe und Eigenartserhalt), sowie eine Ermittlung der landschaftsästhetisch wirksamen Eingriffsintensitäten für die einzelnen Raumeinheiten (Differenz der ästhetischen Eigenwerte vor und nach dem geplanten Eingriff). In vergleichbarer Weise werden visuelle Verletzlichkeit, Schutzwürdigkeit und letztlich Empfindlichkeit bestimmt. Den Abschluss bilden die Ermittlung der landschaftsästhetischen Eingriffserheblichkeit in den einzelnen Raumeinheiten (nach Eingriffsintensität und Empfindlichkeit), dabei v.a. die Ermittlung der erheblich beeinträchtigten Flächen und ggf. die Ermittlung des benötigten Umfangs von Kompensationsflächen (NOHL 1993, S. 43 ff.).

Das von NOHL (1993) entwickelte Verfahren enthält einige Schwachstellen, an denen PAUL et al. (2004) und WEIGEL (2007) ansetzten, um das Konzept weiterzuentwickeln. PAUL et al. (2004) differenzierten die Berechnung der Sichtverschattung durch eine Berücksichtigung von Teilverschattungen und entwickelten darüber hinaus einen Lösungsansatz zur Gewichtung von Mehrfachsichtbarkeiten. Bei einer Freileitung sind im Allgemeinen nicht nur ein Mast, sondern gleich mehrere, in unterschiedlichen Entfernungen gestaffelte Masten sichtbar. Die nunmehr erheblich differenzierteren Berechnungen erfolgten seit PAUL et al. (2004) computergestützt.

WEIGEL (2007) griff das von PAUL et al. entwickelte Verfahren auf und setzte sich zum Ziel, die Berechnungen noch präziser und realitätsnäher zu gestalten. Dazu gehört insbesondere eine Auflösung der drei gestaffelten Wahrnehmungszonen (Fernzone, Mittelzone, Nahzone) zu Gunsten der gleitenden Berechnung eines Wahrnehmungskoeffizienten. Die Fernzone spielt bei WEIGEL (2007) nur noch eine marginale Rolle.

3.6.2.2 Bewertung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen

Der Anwendungsschwerpunkt der oben skizzierten Ansätze der Landschaftsbildanalyse liegt in der vergleichenden Bewertung von Freileitungstrassen. Im Ergebnis können unterschiedliche m^2 -Summen annähernd gleich beeinträchtigter Flächen verglichen und auf dieser Basis Teiltrassen ausgewählt und Kompensationsflächen bestimmt werden. Eine vergleichende Bewertung von Freileitung und Erdkabel kann mit diesem, ausschließlich für mastenartige Eingriffe entwickelten Verfahren nicht geleistet werden. Der Vergleich der Höhe einer Baumschneise (bei einem Erdkabel) mit der Höhe eines Mastes (bei einer Freileitung), wie er bspw. von ENGEHAUSEN (2009) versucht wurde, scheitert an der grundlegend unterschiedlichen Bedeutung eines technischen und eines natürlichen Landschaftselements für das Landschaftsbild.

Das Bundesverwaltungsgericht hat den "für die Schönheiten der natürlich gewachsenen Landschaft aufgeschlossenen Durchschnittsbetrachter" als einen wichtigen Maßstab der Landschaftsbildbewertung festgelegt (BVerwG NuR, 1991 S. 124,127). Es hat damit einerseits dem subjektiven Charakter dieser Bewertung Rechnung gezollt, andererseits mit der erforderlichen Durchschnittlichkeit aber auch ein im weiten Konsens und quasi intersubjektiv geteiltes Verständnis verlangt.

Eine standortunabhängige, vorgreifende Landschaftsbewertung von Leitungstrassen kann nur die vorrangigsten Aspekte berücksichtigen und orientiert sich zweckmäßiger Weise somit an der groben Unterscheidung von Wirkzonen. Die Wirkung von Landschaftselementen auf den Betrachter nimmt ausgehend vom Vordergrund, in dem noch Details erlebbar sind, über den Mittelgrund bis zum Hintergrund, in dem landschaftliche Großelemente nur noch silhouettenhaft wahrgenommen werden, zunächst langsam, dann immer schneller ab, um sich schließlich ganz aufzulösen (NOHL 1993 S. 11). Die von NOHL zugrunde gelegte Unterscheidung von drei ästhetischen Wirkzonen exponentiell abnehmender Eindrucksstärke, nämlich einer Nahzone, einer Mittelzone und einer Fernzone, wird von vielen anderen Fachgutachtern geteilt - allerdings variiert die Anzahl und Abgrenzung dieser Zonen. Zum Vergleich werden im Folgenden Werte eines für 110 kV-Freileitungen vorgestellten Modells genannt, welches von einem vertikalen menschlichen Blickfeld von 37° ausgeht (GEO et al. 2009 S. 119 ff.).

Auch bei der Planung von ebenfalls "mastenartigen" Windenergieanlagen wird verschiedentlich ein mehrstufiges Wirkzonenschema verwandt, um unerhebliche von erheblichen Landschaftsbildbeeinträchtigungen zu unterscheiden. Da die Diskussion um Landschaftsbildwirkungen von Windenergieanlagen in Deutschland seit mindestens zwei Jahrzehnten intensiv geführt wird und inzwischen bundesweit omnipräsent ist, kann ein Abgleich nur hilfreich sein, um auch im Hinblick auf "mastenartige" Freileitungen Sicherheit in der Beurteilung von Beeinträchtigungen der Landschaftsbildqualität zu entwickeln. Im Folgenden wird daher zum Abgleich mit der Bewertungspraxis an Windenergieanlagen ein an einem vertikalen Sehwinkel des menschlichen Auges von 26° oberhalb der Erdoberfläche orientiertes Zonierungsmodell heran gezogen, welches vom WIRTSCHAFTSMINISTERIUM DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG (2001) in der sogenannten "Windfibel" erstveröffentlicht und u.a. über den Winderlass des Landes Schleswig-Holstein (2003) breite Praxisrelevanz gewonnen hat. Die im "Windfibel"-Modell verwendeten Vergleichswerte werden hier auf Stromleitungsmasten mit einer durchschnittlichen Leitungsmasthöhe von 55 m umgerechnet.

Nahzone

Bei NOHL (1993) umfasst die visuell dominante Nahzone eine Kreisfläche mit 200 m Radius um den Mast. Hier nimmt die Freileitung einen großen Anteil des Blickfeldes ein, die Masten überragen die Horizontlinie deutlich und die Trasse tritt als zusammenhängende Struktur in Erscheinung. Die gesamte Anlage beherrscht somit den Landschaftsbildeindruck.

Nach dem Modell von GEO et al. (2004) würde die dominante Nahzone für Freileitungen bei einem 55 m hohen Mast etwa 440 m weit reichen.

Nach dem Windfibel-Modell wäre für Windenergieanlagen eine zweigeteilte Nahzone zu berücksichtigen. In der ersten Zone wäre für eine Gesamthöhe von 55 m die erste Nahzone bereits bei 110 m abgeschlossen. In dieser Zone ist der Abstand zur Wahrnehmung der vollen Objektgröße zu klein, das Bauwerk ist nur durch Umherblicken erkennbar. Eine zweite Nahzone, die sog. Blickbindungszone, würde bis etwa 220 m reichen. In dieser Zone nimmt die Anlage nach diesem Modell etwa ein Ganzes bis ein Halbes des vertikalen Blickfeldes ein.

Da die Entfernung von bis zu ca. 220m (Masthöhe x 4) zum Eingriffsobjekt sowohl von älteren wie von jüngeren Studien als Nahzone bestätigt wird, gehen auch wir im Folgenden von diesem Maß aus.

Mittelzone

Bei NOHL (1993) umfasst die Mittelzone eine Ringfläche, die von 200 m (Nahzone) bis 1.500 m reicht.

Dem NIEDERSÄCHSISCHEN LANDKREISTAG (2009, S.13) zufolge ist bei Freileitungen mindestens ein Abstand bis 1.500 m beiderseits der Trasse als erheblich beeinträchtigt anzusehen.

In dem von GEO et al. (2004) vorgestellten Modell ist die Mittelzone eine subdominante Zone, die für einen 55 m hohen Mast von 440 m bis etwa 1.100 m reicht. Die Freileitung sei im Blickfeld deutlich zu erkennen, aufgrund der geringeren scheinbaren Größe und von Sichtverschattungen aber nicht mehr für den Landschaftsbildeindruck beherrschend. Einzelheiten wie einzelne Leiterseile würden nicht mehr (unwillkürlich) aufgelöst und erkannt, der Anteil im Blickfeld sei >10% (GEO et al. 2004 S. 119).

Die Mittelzone reicht nach dem Windfibel-Modell für eine Windenergieanlagenhöhe von 55 m von etwa 220 m bis 440 m. In diesem Bereich sei noch eine dominante Vollansicht gegeben. Das Bauwerk nimmt danach 1/2 bis 1/4 des Blickfeldes ein, und der volle Umriss der Objektgestalt sei mit einem Blick erfassbar.

Die Mittelzone wird i. Allg. als der in jedem Fall noch erheblich beeinträchtigte Flächenbereich angesehen. Es wird an dieser Stelle deutlich, dass die Mittelzone in der Praxis der Landschaftsbildanalyse für Windenergieanlagen mit bis zu 440 m deutlich schmaler ausgelegt wird, als dies NOHL (1993) und NLT (2009) für Höchstspannungsfreileitungen für angemessen halten. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sollte unserer Auffassung nach eine Bemessung der Mittelzone für Freileitungsmasten (55m) 1.100 m (Masthöhe x 20 wie GEO et al.) nicht überschreiten.

Fernzone

Bei NOHL (1993) umfasst die Fernzone eine immer noch als "Wirkzone" anzusprechende Ringfläche, die von 1.500 m bis 10.000 m reicht. Als zunehmend unbedeutendere Zone kann sie jedoch vielfach vereinfachend auf 5.000 m reduziert werden.

Nach dem von GEO et al. (2004) vorgestellten Modell ist für einen 55 m hohen Mast in einer Entfernung von 1.100 m bis 2.200 m von einer zwar marginalen, aber dennoch erheblichen negativen Veränderung des Landschaftsbildes auszugehen (GEO et al. S. 119). Aufgrund des größeren Abstands und der i.Allg. auch stärkeren Sichtverschattung sei die Freileitung in dieser Entfernung nicht mehr für den Landschaftsbildeindruck prägend. Oft seien nur einzelne Abschnitte der Leitung oder obere Teile der Masten sichtbar. Der Anteil im Blickfeld beträgt >5%.

Als der Fernzone zuzurechnender Bereich ist dem Windfibel-Modell zufolge der "Hintergrund" anzusehen, welcher für eine Anlagenhöhe von 55 m von etwa 440 m bis 1.100 m reicht. Die Ansicht wird in diesem Modell als subdominant beschrieben, die Anlage nimmt 1/4 bis 1/10 des Blickfeldes ein. Auch in dieser Zone wird bei der Windenergieanlagenplanung von geringeren Abständen ausgegangen, als von NOHL und NLT für die Freileitungsplanung empfohlen.

Der Vergleich macht deutlich, dass sich die Auffassungen über die Ausdehnung der Fernzone deutlich unterscheiden. Da es sich hierbei um auslaufende Wirkungen handelt, geht es faktisch um nur geringe Wertunterschiede. Der nach dem Modell von GEO et al. berechnete Wert von 2.200 m (Masthöhe x 40) erscheint als ein praktikabler Kompromiss zwischen landschaftlicher Bedeutung und Untersuchungsaufwand.

Nicht signifikanter Bereich

Der nicht signifikante Bereich beginnt nach NOHL (1993) ab 10.000 m bzw. verkürzt 5.000 m.

In dem von GEO et al. (2004) vorgestellten Modell ist eine Fernwirkung, in der der Anteil der Anlage <5% ist, nicht mehr signifikant. Bei einem 55 m hohen Mast entspricht dies einer Entfernung vom mehr als 2.200 m.

Nach dem Windfibel-Modell reicht die "Fernsichtzone" von einer Anlagenhöhe <10% des vertikalen Blickfeldes (hier 26° ab Erdboden) bis zum Ende der Wahrnehmbarkeit. Nach diesem Modell beginnt diese Zone für einen 55 m hohes Bauwerk bereits bei 1.100 m.

Vorbelastungen

Vorbelastungen können abschwächende oder verstärkende Wirkung auf die landschaftsästhetische Erheblichkeit des Eingriffs haben. Als Vorbelastungen kommen v.a. bestehende Freileitungstrassen in Betracht, die sowohl ersetzt wie ergänzt werden können. Darüber hinaus sind v.a. andere mastenartige Eingriffe, wie z.B. Kraftwerke, Funktürme oder Windenergieanlagen als Vorbelastungen anzusprechen. NOHL (1993 S. 25) differenziert 3 Fälle der visuellen Wirkung einer Vorbelastung:

- Die Neulast ist gegenüber der Vorlast in ihrer visuellen Wirkung erkennbar schwächer (aber deutlich wahrnehmbar). Dabei wird die Erheblichkeit des Eingriffs durch die Vorlast abgemildert.
- Die Neulast besitzt in etwa gleiche visuelle Wirkungen wie die Vorlast. Die Erheblichkeit vergrößert sich dann deutlich durch die Vorlast.
- Die Neulast ist gegenüber der Vorlast erkennbar stärker. Wie im ersten Fall wird die Beeinträchtigung durch die Vorlast abgemildert, ist aber – absolut gesehen – größer als im ersten Fall.

Schutzwürdigkeit

Die Schutzgebietskaskade des Bundesnaturschutzgesetzes, §§ 23 -32, kann in einer überschlägigen Orientierung als ein hinreichender Indikator für den ästhetischen Eigenwert der Landschaft sowie für ihre visuelle Verletzlichkeit herangezogen werden.

3.6.2.3 Beeinträchtigungen des Ortsbildes

Beeinträchtigungen des Ortsbildes sind Landschaftsbildbeeinträchtigungen im besiedelten Raum. Sie werden nicht mit der im Außenbereich üblichen Methodik erfasst. Sie entstehen vorwiegend aus einer Unmaßstäblichkeit von Bauwerken gegenüber der vorhandenen Siedlungsbebauung oder werden durch visuelle Zerschneidungseffekte hervorgerufen. Bei Höchstspannungstrassen kann im visuell

dominanten Nahbereich von etwa 220 m an einer ansonsten nicht vorbelasteten Wohnsiedlung eine Beeinträchtigung durch Masten und Leitungsführungen angenommen werden. Geräusche durch Koronaentladungen und Windsurren verstärken die Beeinträchtigungen. Anwohner verweisen vielfach auf sinkende Grundstückspreise in der Nähe neu errichteter Freileitungen, die v.a. als Resultat einer Ortsbildbeeinträchtigung aufzufassen sind.

3.6.4 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Die Minderung bzw. der Ausgleich einer Landschaftsbildbeeinträchtigung durch Freileitungen ist nur in engen Grenzen möglich. Hierzu besagt das BVerwG, Urteil vom 27.09.1990 – 4 C 44.8: „Eine Kompensation der erheblichen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes bzw. die Wiederherstellung des Landschaftsbildes scheidet bei mastenartigen Eingriffen aufgrund ihrer optischen Wirkungen in der Regel aus. Eine landschaftsgerechte Neugestaltung ist nur dann möglich, wenn ein Zustand hergestellt wird, der den vorher vorhandenen Zustand in weitest möglicher Annäherung fortführt, d.h. in gleicher Art, mit gleichen Funktionen und ohne Preisgabe wesentlicher Faktoren des optischen Beziehungsgefüges.“

Aus der obigen Einleitung ergibt sich, dass die Schonung landschaftlich hochwertiger Naturräume durch eine frühzeitig ausweichende Trassenplanung oder durch die Wahl der Erdkabelalternative den Schwerpunkt der im Hinblick auf das Schutzgut Landschaftsbild zu erwägenden Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen darstellen muss. Eine brauchbare Variante der Schonung hochwertiger Naturräume ist die Bündelung der Trasse mit anderen technischen Strukturen wie etwa Bundesautobahnen und vorhandenen Freileitungstrassen. Bestenfalls ergeben sich auf diese Weise nur geringe Zusatzbelastungen.

Sind die Möglichkeiten der Trassierung ausgeschöpft, lassen sich das Landschaftsbild beeinträchtigende Wirkungen in geringem Umfang noch durch technisch-gestalterische Mittel minimieren. Wo an Waldstandorten z.B. die Schneisenwirkung im Vordergrund steht, kann erwogen werden, ob eine Waldüberspannung mit Hilfe höherer Masten eine Minderung der Landschaftsbildbeeinträchtigung bedeuten würde.

IBU (2007, S. 474 ff.) und GEO et al. (2009, S. 122) zufolge lassen sich visuelle Beeinträchtigungen insbesondere durch geringe Masthöhen (Einebenenmasten statt Donaumasten), gerade Leitungszüge und ggf. durch eine geeignete farbliche Gestaltung der Maste realisieren. Diesen Autoren zufolge lassen sich Masthöhen bspw. durch einen Verzicht auf die Mastspitze und (soweit möglich) auf die Mitführung des Erdseils auf der Traverse verringern.

Durch das Zulassen von natürlicher Sukzession an den Maststandorten und auf den Schneisen im Rahmen eines ökologischen Trassenmanagements (DEUTSCHE UMWELTHILFE 2010) kann die visuelle Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Trassenbauwerke zusätzlich vermindert werden. Abpflanzungsmaßnahmen an Maststandorten und Nebenanlagen sowie an sichtbeeinträchtigten Blickstandorten sind ein letztes Mittel der möglichen Verminderung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen.

3.7 Auswirkungen von Freileitungen auf Kultur- und Sachgüter

3.7.1 Auswirkungen während der Bauphase

Mit den Bauarbeiten an Freileitungstrassen können Kulturdenkmäler, insbesondere archäologische Denkmäler wie etwa Grabhügel, gefährdet sein.

3.7.2 Auswirkungen durch Anlage und Betrieb

Durch die Anlage einer Freileitung kann es in der Nähe von Kulturdenkmälern, bspw. Grabhügel oder Kirchen, zu visuellen Beeinträchtigungen kommen, die nach Möglichkeit bereits bei der Planung der Maststandorte und Leitungstrasse ausgeschlossen werden. Die im Abschnitt zum Landschaftsbild dargestellte Zonierung ist auch für die Beurteilung visueller Beeinträchtigungen von Kulturgütern sinnvoll (vgl. Abschn. 3.6).

3.7.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Die angemessenen Maßnahmen zur Minderung von Beeinträchtigungen des Schutzgutes Kultur- und Sachgüter beim Bau von Freileitungen sind in Abschn. 2.7.3 dargestellt.

3.8 Auswirkungen von Freileitungen auf die Luft und das Klima

3.8.1 Auswirkungen während der Bauphase

Der Bau von Freileitungen hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Schutzgüter Luft und Klima. Während der Bauphase entstehen IBU (2007, S. 337) zufolge erhöhte Abgasemissionen und bei langanhaltender Trockenheit auch Staubemissionen in Folge des Einsatzes von Fahrzeugen und Baumaschinen. IBU (vgl. 2007, S. 337) zufolge führen diese Emissionen zu kurzzeitigen und kleinräumigen Immis-

sionen, die jedoch keine nachhaltigen und negativen Veränderungen auf die klimatischen Verhältnisse haben.

3.8.2 Auswirkungen während Anlage und Betrieb

In der Betriebsphase von Freileitungen kann es bei Koronaentladungen zu einer Ionisierung von Luftmolekülen und dadurch zu einer Entwicklung von Oxidantien wie z.B. Ozon und Stickoxide kommen (JARASS et. al. 1996, S. 21; IBU 2007). Die entstandenen Ionen können bis zu einem Abstand von mehreren Kilometern nachgewiesen werden (vgl. GEO 2009, S. 26). Die Korona-Effekte tragen jedoch nur wenig zu dem in Ballungsräumen durch Photooxidantien erzeugten bodennahen Ozonpegel bei, sodass sie i. Allg. nicht als eine nachhaltige Beeinträchtigung der lufthygienischen Situation angesehen werden (vgl. Jarass et. al. 1996, S. 21; IBU 2007, S. 337).

Als Folge von Waldabtrieb zur Anlage von Freileitungstrassen kann es zu mikroklimatischen Veränderungen kommen. Entstehen bspw. auf stärker geneigten, bewaldeten Hängen rund um Siedlungen hangparallel Waldschneisen, so kommt es zu neuen oder erhöhten Kaltluftabflüssen, die insbesondere bei Inversionswetterlagen zur Verbesserung der lufthygienischen Situation führen können. (vgl. IBU 2007, S. 338). Ortsweise wird das Kleinklima durch Minimierung der Waldfläche und Schneisenbildung geringfügig verändert. Dadurch kann im Extremfall auch das Waldinnenklima beeinträchtigt sein. Denkbar ist auch eine Beeinträchtigung durch erhöhte Sonnen- und Windeinwirkungen an den Schneisenrändern (MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS MECKLENBURG-VORPOMMERN 2008). Schwerwiegende Beeinträchtigungen auf die Schutzgüter Luft und Klima sind durch Auswirkungen von Freileitungen in der Regel jedoch nicht zu erwarten (vgl. NLT 2009, S. 11).

3.8.3 Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Die angemessenen Maßnahmen zur Minderung von Beeinträchtigungen des Schutzgutes Klima und Luft beim Bau von Freileitungen sind in Abschn. 2.8.3 dargestellt.

3.9 Wechselwirkungen

3.9.1 Wechselwirkungen durch Bündelung von Vorhaben

Zwischen Naturgütern bestehen regelmäßig Wechselwirkungen, so dass auch Beeinträchtigungen einzelner Naturgüter durch Wirkungsverlagerungen und Se-

kundärwirkungen als Störung des Gesamtgefüges begriffen werden können. Vorliegende Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zeigen bei Freileitungsvorhaben, dass Sekundärwirkungen im Allgemeinen offenbar nicht die Qualität einer erheblichen Beeinträchtigung erreichen (ERM 2010, C4.7.1; ERM 2010a, C4.7.1). In jedem Fall sind diese Fragestellungen sehr einzelfallspezifisch.

Neben den Sekundärwirkungen, die über die ökologische Vernetzung der einzelnen Naturgüter transportiert werden, werden Wechselwirkungen darüber hinaus auch in Verbindung mit den Umweltauswirkungen anderer Bauten, Einrichtungen und Planungen relevant. Die unterschiedlichen Umweltauswirkungen können sich dabei addieren und potenzieren, aber auch vermindern oder sogar aufheben. Durch Bündelung eines Freileitungsvorhabens mit anderen linearen Anlagen bzw. Bauvorhaben können einerseits die zusätzlich zu erwartenden Umweltwirkungen auf ein Minimum reduziert werden. Andererseits sind gerade aufgrund der absichtlich herbeigeführten Nähe einer anderen Anlage auch mögliche negative Wechselwirkungen zu beachten.

3.9.2 Bündelung und Wechselwirkungen während der Bauphase

Bei der Verlegung einer Freileitungstrasse entlang einer Straße oder eines Schienenweges kann auf diesen Strecken auf die Herstellung von Zuwegungen zu den Maststandorten verzichtet werden. Die Umweltauswirkungen der Bauphase treffen auf durch die Verkehrsstrecke deutlich vorbelastete Bereiche und sind daher gegenüber einer isolierten Trasse reduziert.

Die Bündelung eines Freileitungsvorhabens mit anderen linearen Anlagen, bspw. Rohrleitungen, Kommunikationsleitungen, Drainageleitungen oder Freileitungen einer anderen Spannungsebene kann ebenfalls eine Wirkungsreduzierung aufgrund der Inanspruchnahme bereits vorbelasteter Flächen erzeugen.

Negative Wechselwirkungen sind während der Bauphase wechselseitig durch versehentliche Beschädigungen der dicht benachbarten Anlagen denkbar.

3.9.3 Vorhabensbündelung und Wechselwirkungen durch Anlage und Betrieb

Bei der Bündelung von Freileitungstrassen mit linienhaften Infrastrukturen können sich bei Anlage und Betrieb gegenüber isolierten Trassen erhebliche Wirkungsreduktionen ergeben (vgl. Berichtsteil Recht, Abschn. 1.5.3). Dies gilt insbesondere für Wirkungen auf den Menschen, auf Arten und Biotope sowie auf das Landschaftsbild. Umweltentlastende Wirkungen können z.B. durch die kombinierte und dadurch insgesamt flächenreduzierte Freihaltung von Gehölzen im

Trassenbereich erzielt werden. Im Idealfall treffen gleichartige Wirkungen zusammen und ergeben nur geringe kumulative Effekte.

Zur Bündelung sind insbesondere linienhafte Infrastrukturtrassen mit erheblichen Umweltvorbelastungen geeignet wie:

- Vorhandene Freileitungstrassen
- Bundesstraßen, Bundesautobahnen
- Schienenwege für den Zugverkehr, insbesondere elektrifizierte Bahnstrecken
- Gasversorgungsleitungen
- Rohrleitungsanlagen zum Befördern von Wasser.

Negative Wechselwirkungen bei der gebündelten Verlegung von Freileitungen mit anderen linienhaften Infrastrukturtrassen sind insbesondere an folgenden Punkten denkbar:

- Magnetfelder können Induktionsspannungen und damit Korrosionen in sehr nahe gelegenen metallischen Anlagen verursachen (ggf. durch Potenzialsteuerung bzw. Erdung vermeidbar).
- Die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes kann durch Bündelung mit einer bestehenden Freileitungstrasse unverhältnismäßig gesteigert werden (NOHL 1993 S. 25).
- Die kumulative Belastung aufgrund unterschiedlicher Beeinträchtigungsfaktoren kann für benachbarte Nutzungen, bspw. Wohnnutzung, ein zumutbares Maß überschreiten.

4 Synoptische Bewertung der Umweltbelange

Die Bewertung der zu erwartenden Umweltfolgen bei Bau und Betrieb von Erdkabelleitungen sowie von Freileitungen wird regelmäßig im Rahmen ausführlicher Umweltverträglichkeitsuntersuchungen durchgeführt, die im jeweiligen Zulassungsverfahren vorgeschrieben sind. Erst im Rahmen einer solchen, die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigenden Untersuchung, können die zu erwartenden Umweltwirkungen angemessen konkretisiert werden. Die im Folgenden aufgeführten tabellarischen Einschätzungen auf Basis der vorhergehenden Textabschnitte sollen solche Umweltuntersuchungen natürlich weder vorwegnehmen noch ersetzen. Sie sind vielmehr als eine grobe Orientierung für die ersten Planungsschritte vorgesehen, die auf dem heutigen Wissens- und Erfahrungsstand zu den einzelnen Umweltschutzgütern einer frühzeitigen Vermeidung vorhersehbarer Planungskonflikte dienen. Um Missverständnissen bei der Handhabung der Tabellen vorzubeugen, hier einige kurze Erläuterungen:

- Die Inhalte entsprechen dem Umweltverständnis des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG). Dabei sind vereinzelt Punkte von geringer Planungsrelevanz, wie "Luft, Klima", außen vor gelassen worden. Informationen, die in einem frühen Planungsstand i. Allg. nicht oder nur lückenhaft vorliegen, z.B. über das Vorkommen seltener EU-rechtlich geschützter Arten, wurden entweder in einer Sammelgruppe zusammengefasst, oder mit dem Zusatz "Wenn Vorkommen bekannt" versehen. Der besseren Übersichtlichkeit halber sind die Tabellen knapp gehalten. Weitere Differenzierungen, bspw. zwischen Offenland und Waldstandorten wären nur auf Kosten der Übersichtlichkeit möglich.
- Es handelt sich hier tendenziell um Konfliktpunktlisten. Vorsorglich werden eine Reihe möglicher Restriktionen abgeprüft, deren tatsächliches Vorkommen ungewiss ist. Problemlose Planungsbedingungen werden der besseren Übersichtlichkeit halber nicht abgebildet.
- Die Listen sind ggf. im Einzelfall auf diejenigen Sachverhalte anzupassen, die im jeweiligen Planungsfall und im jeweiligen Bundesland belastbar und vergleichbar in einem frühen Planungsstadium vorliegen. Auch mag es im Einzelfall ratsam sein, die 5-stufige Skalierung auf eine plakativere 3-stufige Skalierung zu reduzieren.
- Vorbelastungsaspekte wie z.B. Bündelungs- und Ersatzneubauaspekte sind sehr einzelfallspezifisch und daher nicht in die Bewertungslisten eingegangen. Ihre tabellarische Darstellung dürfte sich als zu komplex erweisen. Die Darstellung der Tabellen bezieht sich in dieser Form auf die Findung „neu-

er“ Trassen. Im Fall von Vorhaben zur Bündelung oder für Ersatzneubau können die Tabellen als planerische Grundlage zur Entwicklung eines entsprechend angepassten Systems herangezogen werden.

- Es wurde bewusst eine symbolische Darstellung der einzelnen Bewertungsstufen gewählt, um einer Gesamtsaldierung durch eine mathematisch unzulässige Addition ordinaler Rangstufen vorzubeugen. Eine Gewichtung der im Einzelnen aufgeführten Kriterien sollte, wenn nicht bereits durch Gesetze und Verordnungen vorgegeben, im politischen Entscheidungsprozess bzw. in den entsprechenden Zulassungsverfahren unter Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgen.
- In umstrittenen Sachfragen, wie hier der Umwelteignung von Erdkabeln oder Freileitungen, werden unliebsame Bewertungen schnell als tendenziös verunglimpft. Dem stellen wir uns mit diesen Bewertungstabellen gerne. In der unten aufgeführten Übersichtstabelle haben wir die Anzahl der Nennungen in den einzelnen Bewertungsstufen für Erdkabel und Freileitung (Ergebnisspalte "Klassifizierung" der folgenden Tabellen) gegenübergestellt. Wir stellen fest, dass die Skala der Bewertungen für beide Leitungsarten weit ausgenutzt wird und Bewertungsschwerpunkte (mehr positive Bewertungen für Erdkabel) nicht verkennen lassen, dass beiden Technologien auch deutlich nachteilige Bewertungen zukommen. Auf dieser Basis halten wir unsere Bewertungen für ausgewogen und den Umweltaspekten angemessen.
- **Tabelle 18:** Anzahl der Bewertungseinstufungen für Erdkabel und Freileitung. Dabei werden die möglichen Vermeidungs- u. Verminderungsmaßnahmen mitberücksichtigt (Ergebnisspalte "Klassifizierung" der folgenden Tabellen).

Bewertung	Anzahl der Einstufungen (Spalte Klassifizierung)									
	Erdkabel					Freileitungen				
	--	-	~	+	++	--	-	~	+	++
Gesundheit und Wohlbefinden		1		1	2		1	2	1	
Landschaftsbild				3	1		3	1		
Tiere und Pflanzen			2	2			1	1	2	
Schutzgebiete			2				2			
Biotope		1	1	1			1	1		1
Böden		2	1					2	1	
Grundwasser, Oberflächengewässer		3	1					3	1	
Kulturgüter, sonst. Sachgüter			1	1	1		1	2		
Summe		7	8	8	4		9	12	5	1

Legende zu den folgenden Bewertungstabellen**Vor dem Schrägstrich (Bewertung ohne Vermeidungs- u. Minderungsmaßnahmen):**

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

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

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

Bewertungstabelle 1: Gesundheit und Wohlbefinden (Mensch)

GESUNDHEIT UND WOHLBEFINDEN	A ERDKABEL			B FREILEITUNGEN		
	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung	I Bauphase	II Anlage u. Betrieb	III Klassifizierung
1 Nahbereich (unter- bzw. oberhalb der Leitung)	+	Max. Auslastung kann den Grenzwert der 26. BImSchV für magn. Felder (Dauerexposition) erreichen; vermindert durch Rohrverlegung	--/*-	+	Grenzwert der 26. BImSchV für elektrische Felder (Dauerexposition) kann bei max. Auslastung erreicht werden; Minderung d. höhere Leitungen	--/*-
2 Umgebung von Wohngebäuden bis 400 m Abstand im Innenbereich gem. §34 BauGB	-/*~	Bei Minderung der Schall- u. Staubemissionen zumutbare Beeinträchtigungen	+	+	Bei Minderung der Schall- u. Staubemissionen Beeinträchtigungen zumutbar	~
3 Umgebung von Wohngebäuden bis 200 m Abstand im Außenbereich gem. §35 BauGB	+	Aufgrund deutlicher Abnahme der magn. Felder ab 10 - 15 m gut geeignet	++	++	Nach 20 - 40 m deutliche Abnahme magn. Felder	~
4 Außerhalb der unter 2 u. 3 genannten Abstände	+	Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen marginal	++	++	I. Allg. geringfügige Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen	+

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

Bewertungstabelle 2: Landschaftsbild

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

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

Bewertungstabelle 3: Tiere und Pflanzen

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

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

Bewertungstabelle 4: Schutzgebiete

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

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

Bewertungstabelle 5: Biotope

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

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

Bewertungstabelle 6: Boden

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

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

Bewertungstabelle 7: Grundwasser, Oberflächengewässer

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

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

Bewertungstabelle 8: Kulturgüter, sonst. Sachgüter

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

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

5 Exemplarische Darstellungen

Anhang 2 enthält eine Auflistung und Beschreibung von neun Modelltrassenabschnitten, die auf der Basis realer Standorte und Streckenabschnitte einer Höchstspannungstrasse für exemplarische Darstellungen ausgewählt wurden.

Szenarien der Bodenerwärmung sind in besonderem Maße abhängig von realistischen Bodenkennwerten. Die Auswahl der Modelltrassenabschnitte hat daher maßgeblich zum Ziel, für die unterschiedlichen Naturräume, in denen ein Ausbau des Höchstspannungsnetzes vorgesehen ist (Bergland, Höhenzüge, Beckenlagen, Flusslandschaften, Auen u. Niederterrassen, Börde, Geestplatten u. Endmoränen) repräsentative Bodencharakteristiken zu benennen. Es wurde daher ein möglichst breites Spektrum an unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten entlang einer geplanten Trasse ausgewählt und hinsichtlich der vorzufindenden Bodeneigenschaften beschrieben. Im Einzelnen benennen diese Beschreibungen folgende Bodentypen:

Braunerde	Braunerde-Regosol
Erd-Niedermoor	Gley
Gley mit Erdniedermoorauflage	Gley-Schwarzerde
Gley-Vega	Kolluvisol unterlagert von Gley
Parabraunerde	Pararendzina
Pseudogley-Braunerde	Pseudogley-Parabraunerde
Rendzina	Vega

Auf Basis der detektierten Bodencharakteristiken an den neun repräsentativen Trassenabschnitten wurden unter Berücksichtigung der bodentypischen Schichtungen Wärmeleitwerte und Wärmewiderstände für eine Tiefe von 1 m unter EOK errechnet. Es wurde dabei stets von einem trockenen Boden ausgegangen, wie er in der direkten Umgebung eines Wärme abgebenden Kabels am ehesten zu erwarten ist. Die Wärmeleitwerte (W/mK), bewegen sich dabei zwischen 0,4 und 1. Die Wärmewiderstände (Km/W) dagegen liegen zwischen 1 und 2,5.

Für die exemplarischen Darstellungen zur Wärmeemission eines Höchstspannungskabels wird auf den Berichtsteil Technik, Teil III des Fachgebiets für Elektrische Energieversorgung an der Leibniz Universität Hannover verwiesen.

6 Empfehlungen für den Netzausbau aus Umweltsicht

Höchstspannungsleitungen können in Bau- und/oder Betriebsphase mit Umweltbeeinträchtigungen verknüpft sein. Im vorhergehenden Text wurde eine Vielfalt an planerischen, technischen, und landschaftspflegerischen Maßnahmen aufgezeigt, um unerwünschte Umweltwirkungen zu vermeiden und zu vermindern. Entsprechende Maßnahmen sollten bei der Planung von Höchstspannungsleitungen frühzeitig berücksichtigt und an aussagekräftigen Beispielen weiterentwickelt werden.

Das mit Abstand höchste Potenzial zur Vermeidung von Umweltbeeinträchtigungen liegt in der Trassenlegung, mit der in einem frühen Planungsstadium begonnen wird. Es ist daher sehr wichtig, auch mit der Einbindung von Umweltexpertise frühzeitig im Planungsprozess zu beginnen.

Bei der Auswahl der technischen Ausbauvariante einer Höchstspannungsleitung (Freileitung oder Erdkabel) sollten Umweltgüter einen hohen Stellenwert haben. Dichte Siedlungsabstände und eine hohe Betroffenheit des Landschafts- und Ortsbildes legen vielfach ein Erdkabel nahe. Sind schwerpunktmäßig schutzwürdige Böden und Gewässer betroffen, kann dagegen eine Überspannung mit Freileitungen ratsam sein. Für eine erste Einschätzung in einem frühen Planungsstadium bieten sich die auf den vorhergehenden Seiten vorgestellten synoptischen Bewertungstabellen an. Eine tragfähige Empfehlung kommt jedoch nicht ohne ökologische Vor-Ort-Untersuchungen aus.

Vorhandene Vorbelastungen durch andere linienhafte Infrastrukturen sollten vorzugsweise zur Trassenbündelung und Reduktion der gesamten Umweltbeeinträchtigungen genutzt werden. Zur Bündelung sind insbesondere geeignet:

- Vorhandene Freileitungs- und Kabeltrassen
- Bundesstraßen, Bundesautobahnen
- Schienenwege für den Zugverkehr, insbesondere elektrifizierte Bahnstrecken
- Gasversorgungsleitungen
- Rohrleitungsanlagen zum Befördern von Wasser.

Bündelung darf allerdings kein absoluter Maßstab sein. So sind bspw. bei der Bündelung einer neuen Höchstspannungstrasse mit Trassen einer niedrigeren Spannungsebene ggf. vergrößerte Schutzabstände zu beachten. Bei einer Bündelung von Kabeltrassen sind ggf. kumulative Auswirkungen einer Erwärmung zu beachten.

Beeinträchtigungen durch elektrische oder magnetische Felder lassen sich grundsätzlich durch eine Vergrößerung der Wirkabstände minimieren. Die Grenzwerte sollten dabei nicht ausgeschöpft werden. Vorsorgeabstände zu Daueraufenthaltsräumen von Menschen sollten weit ausgelegt werden, wie bspw. im EnLAG nahe gelegt.

Beeinträchtigungen von Tieren und Pflanzen können in der Bauphase von Höchstspannungsleitungen verschiedentlich durch eine gezielte Vorgabe von Bauzeitfenstern vermieden werden. Die Arbeitsstreifen für den Bau von Höchstspannungsleitungen sollten so schmal wie unter konstruktiven Gesichtspunkten nötig ausgelegt werden. Baustraßen sollten flexibel gehalten und frühzeitig rückgebaut werden. Bodenvermischungen, Bodenverdichtungen und Eingriffe in den Bodenwasserhaushalt sind so gering wie möglich zu halten.

Zum Schutz bestimmter Tier- und Pflanzenhabitats empfiehlt sich bei der Errichtung von Freileitungen eine variable Feinplatzierung der Maststandorte und ggf. eine Überspannung wertvoller Gehölzstandorte - wobei die Auswirkungen auf das Landschaftsbild nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Im Falle der Anlage von Waldschneisen sollte sowohl bei Freileitungen wie bei Erdkabeln ein ökologisches Trassenmanagement eingerichtet werden.

Bei der Verlegung von Erdkabeln auf der Höchstspannungsebene sollten alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die Wärmeentwicklung auf den belebten Boden gering zu halten. Die ökologische Forschung zur Bestimmung der Tragfähigkeitsschwellen für die Wärmeentwicklung im belebten Boden sollte verstärkt werden. In derzeitiger Ermangelung wissenschaftlich fundierter Richtwerte für die maximal tragbare Erwärmung in terrestrischen Böden empfehlen wir vorläufig eine Erwärmung von maximal 5 K in 50 cm unter EOK nicht zu überschreiten.

Der Kenntnisstand über die Auswirkungen der Wärmeentwicklung eines Höchstspannungskabels sollte durch verstärkte Monitoringuntersuchungen auf unterschiedlichen Böden und bei unterschiedlicher Vegetationsdecke verbessert werden.

7 Zusammenfassung

Die Umweltwirkungen von Höchstspannungskabeln und Höchstspannungsfreileitungen werden in diesem Teilbericht maßgeblich als Ergebnis einer Literatursynopse dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit gliedern sich die Darstellungen einmal für Erdkabel (Kap. 2), ein anderes Mal für Freileitungen (Kap. 3) nach dem Schutzgüterkatalog des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG §2).

Menschliche Gesundheit: Hinsichtlich menschlicher Gesundheit stehen die magnetischen Felder von Erdkabeln und die elektrischen und magnetischen Felder von Freileitungen im Mittelpunkt der umweltorientierten Betrachtung. Nach der 26. BImSchV 1996 (§ 3 Anhang) liegt der Immissionsgrenzwert der magnetischen Flussdichte in Deutschland bei 100 μT (50 Hz) und gilt für alle Orte, an denen Menschen sich dauerhaft aufhalten können. Epidemiologische Untersuchungen weisen zwar darauf hin, dass Wirkungen unterhalb dieses Grenzwertes möglich sind, Ursache-Wirkungsbeziehungen gelten jedoch aktuell als nicht nachweisbar, so dass die Strahlenschutzkommission keine Verschärfung der 26. BImSchV empfiehlt. Vor dem Hintergrund bestehender Wissensunsicherheiten werden die Grenzwerte sowohl in einigen Bundesländern als auch vereinzelt im Ausland mit hohen Vorsorgemargen versehen. In der Schweiz gilt z.B. ebenfalls 100 μT als Grenzwert. Darüber hinaus wird jedoch in der Schweiz ein zweiter Grenzwert von 1 μT für die Dauerexposition an sensiblen Orten definiert. In Bremen (2004) empfiehlt der Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales sogar die Einhaltung von 0,3 μT bei Hochspannungsleitungen². Die von einem Nahbereich abgesehen vergleichsweise geringen Magnetfeld- und unbeachtlichen Elektrofildimmissionen durch Erdkabel machen den Einsatz der Erdkabeltechnologie auf Höchstspannungsebene als Alternative zu Freileitungen unter Vorsorgegesichtspunkten besonders interessant. Im Rahmen einer umfassenden Vorsorge erkennt das EnLAG innerhalb eines Abstands von 400 m zu Wohngebäuden im Geltungsbereich eines B-Plans oder im unbeplanten Innenbereich gem. § 34 BauGB (falls vorwiegend Wohnnutzung) sowie innerhalb eines Abstands von 200 m zu Wohngebäuden im Außenbereich gem. § 35 BauGB eine besondere Betroffenheit durch Freileitungen. Das Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen (2008) stellt sogar innerhalb dieser Abstände auf Neutrassen die Verlegung von Erdkabeln als Ziel fest, wobei dies mit Wohnumfeldgesichtspunkten und nicht mit Gesichtspunkten der menschlichen Gesundheit begründet wird.

² Die weltweit sehr unterschiedlichen Grenzwerte, Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern wurden als Vorarbeit zu dieser Studie vom ECOLOG-Institut, Hannover, zusammengestellt (vgl. Neitzke u. Osterhoff).

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

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

Unter den schutzwürdigen Biotopen sind insbesondere Feuchtgebiete (Hoch- und Niedermoore, Sümpfe, rezente Auen, Gewässerufer) sowie Trockenrasen und spez. Grünlandstandorte mit Gefährdungsstatus 1-2 für Erdkabelverlegung aufgrund unterschiedlicher Faktoren nicht geeignet. Für Freileitungstrassen ergeben sich aufgrund der 40 m bis über 70 m breiten Schutzstreifen hohe Konflikte bei Gehölzbiotopen, insbesondere bei solchen mit Gefährdungsstatus 1-2 (v.a. großräumige Misch- und Laubwaldbiotope).

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

Wasser: Im Zuge von Erdkabelverlegungen sind mögliche baubedingte Auswirkungen auf das Grundwasser und auf ggf. indirekt beeinflusste Oberflächengewässer zu beachten. Dies gilt insbes. bei Feuchtgebieten mit hoch anstehendem Grundwasser oder Gebieten mit gespannten Grundwasserleitern, die für die Zeit der Kabelverlegung eine aktiv herbeigeführte Grundwasserabsenkung erfordern und unbeabsichtigt drainiert werden könnten. Irreversible Schädigungen durch

Erdkabelverlegung lassen sich i. Allg. durch bauliche Vorsorgemaßnahmen (umsichtige Wasserhaltung, korrekter Rückbau der Bodenschichtung) ausschließen.

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

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

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

Landschaft: Bei Erdkabeln verbleibt nach der Bauphase in Gebüsch und Wäldern eine Schneise von 12 m bis 25 m Breite. Im Offenland ist die Trasse ein Jahr nach Fertigstellung aus der Perspektive des Durchschnittsbetrachters nicht mehr zu erkennen. Als Nebenbauwerke sind ggf. Muffenbauwerke, Schachtbauwerke, Umrichtstationen und Kabelübergangsanlagen zu beachten.

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

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

Synoptische Bewertung: Die im Textteil ausführlich dargelegten Umweltsachverhalte werden in einer aus acht thematischen Tabellen bestehenden Orientierungshilfe zusammengefasst, die in einem vorgelagerten Planungsstadium eine Entscheidung zwischen Erdkabel einerseits und Freileitung andererseits erleichtern soll. In den genannten Tabellen wird die Umwelteignung von Erdkabeln und Freileitungen im Vergleich auf einer 5-stufigen Skala bewertet.

Empfehlungen: Im letzten Abschnitt finden sich unsere Planungsempfehlungen für den weiteren Ausbau des Höchstspannungsnetzes. Aus Umweltsicht stehen dabei folgende Aspekte im Vordergrund:

Die Planung von Höchstspannungsleitungen sollte die Vielfalt an planerischen, technischen, und landschaftspflegerischen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verminderung von Umweltbeeinträchtigungen ausschöpfen. Der frühzeitigen Einbindung von Umweltexpertise im Planungsprozess kommt eine besondere Bedeutung zu.

Bei der Auswahl der technischen Ausbauvariante einer Höchstspannungsleitung (Freileitung oder Erdkabel) sollten Umweltgüter einen hohen Stellenwert haben. Dichte Siedlungsabstände und eine hohe Betroffenheit des Landschafts- und Ortsbildes legen vielfach ein Erdkabel nahe. Sind schwerpunktmäßig schutzwürdige Böden und Gewässer betroffen, kann dagegen eine Überspannung mit Freileitungen ratsam sein. Für eine erste Einschätzung in einem frühen Planungsstadium bieten sich die auf den vorhergehenden Seiten vorgestellten synoptischen Bewertungstabellen an. Eine tragfähige Empfehlung kommt jedoch nicht ohne ökologische Vor-Ort-Untersuchungen aus.

Vorhandene Vorbelastungen sollten vorzugsweise zur Bündelung genutzt werden. Bündelung darf allerdings kein absoluter Maßstab sein, denn verschiedentlich erfordern Höchstspannungsleitungen größere Schutzabstände als die vorhandene linienhafte Infrastruktur.

Beeinträchtigungen durch elektrische oder magnetische Felder lassen sich grundsätzlich durch eine Vergrößerung von Wirkabständen minimieren. Grenzwerte sollten dabei nicht ausgeschöpft werden. Vorsorgeabstände zu Daueraufenthaltsräumen von Menschen sollten weit ausgelegt werden.

Bei der Verlegung von Erdkabeln auf der Höchstspannungsebene sollten alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die Wärmeentwicklung auf den belebten Boden gering zu halten. Die ökologische Forschung zur Bestimmung der Tragfähigkeitsschwellen für die Wärmeentwicklung im belebten Boden sollte verstärkt werden. Der Kenntnisstand über die Auswirkungen der Wärmeentwicklung eines Höchstspannungskabels sollte im Rahmen der Pilotprojekte durch Monitoringuntersuchungen auf unterschiedlichen Böden und bei unterschiedlicher Vegetationsdecke verbessert werden.

8 Literaturverzeichnis

AGNL - ARBEITSGRUPPE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (2006): Kranichrast in Niedersachsen 1994-2005. Rastgebiete und Bewertung, Habitatwahl, Raum-Zeit-Nutzung, aktuelle Gefährdungssituation und Ursachen. Auftraggeber: Staatliche Vogelschutzwarte Hannover, NLWKN.

ALTEMÜLLER, M.; REICH, M. (1997): Einfluß von Hochspannungsfreileitungen auf Brutvögel des Grünlandes. *Vogel und Umwelt*(9).

ALTENKAMP, R.; BAUER, H.-G.; STEIOF, K. (2001): Gefährdung von Arten durch Beutegreifer: S. 462–469.

AMT FÜR NATUR UND UMWELT, SCHWEIZER REGIERUNG (2002): Beurteilung von Freileitungen. Eine Arbeitshilfe für Betreiber, Planer und Gemeinden, Naturschutzorganisationen und Amtsstellen.

BALLASUS, H.; SOSSINKA, R. (1997): Auswirkungen von Hochspannungstrassen auf die Flächennutzung überwinternder Bleiß- und Saatgänse *Anser albifrons*, *A.fabalis*. *J. Ornithol*(138).

BBODSCHG - BUNDESBODENSCHUTZGESETZ, vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, zuletzt geändert am 9. Dezember 2004, BGBl. I S. 3214

BBODSCHV – BUNDES BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG, vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554, zuletzt geändert am 31. Juli 2009, BGBl. I S. 2585 (Inkrafttreten am 01.03.2010)

BEERLAGE M.A.M. 2009: Health effects of extremely low frequency (ELF) electric and magnetic fields (EMF). Overview of international regulation and recommendations for regulation in Oman. 30820262-Consulting 09-0245, KEMA, Arnhem

BERNHARDT, J. H. (2002): Gesundheitliche Aspekte niederfrequenter Felder der Stromversorgung. – *Deutsches Ärzteblatt* 99, Ausgabe 27, A-1898.

BERNSHAUSEN, F.; STREIN, M.; SAWITZKY, H. (1997): Vogelverhalten an Hochspannungsfreileitungen – Auswirkungen von elektrischen Freileitungen auf Vögel in durchschnittlich strukturierten Kulturlandschaften. *Vogel und Umwelt*, Bd. 9, Sonderheft: S. 59-92.

BEVANGER, K.; BRØSETH, H. (2004): Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. *Animal Biodiversity and Conservation* 27,(2): S. 67–76.

BFN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2002): Erarbeitung regionalisierter naturschutzfachlicher Landschaftsleitbilder. Online in Internet: http://www.bfn.de/0311_leitbilder.html?&0= (Stand 1.6.2006).

BFN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2006): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Zweite fortgeschriebene Fassung. Bonn.

BIMSCHG – BUNDES-IMMISIONSSCHUTZGESETZ, in der Fassung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 01. November 2005 (BGBl. I S. 1865)

BINE ENERGIEFORSCHUNG FÜR DIE PRAXIS (1990): Raumbelastung durch Hochspannungsleitungen. Projekt Info-Service.

BIOINITIATIVE WORKING GROUP 2007: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF). BioInitiative Report

BNATSCHG 2010 – Bundesnaturschutzgesetz, vom 29.7.2009, BGBl. I Nr. 51, Inkrafttreten am 1.3.2010

BORBACH-JAENE, J. (2002): Anthropogen bedingte Verluste von Lebensraum und ihre Folgen. Zur Ökologie und zum Verhalten in der nordwestdeutschen Küstenlandschaft überwinternder arktischer Gänse. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften, Universität Osnabrück.

BOSCHERT, M. (2004): Vorkommen und Bestandsentwicklung seltener Brutvogelarten in Deutschland 1997 bis 2003. Abruf am 2010-02-18.

BRAKELMANN, H. (2004) Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel? Im Auftrag Bundesverband WindEnergie e.V.. Rheinberg.

BREUER, W. (2007): Stromopfer und Vogelschutz an Energiefreileitungen. § 53 Bundesnaturschutzgesetz in der Praxis. Naturschutz und Landschaftsplanung 39, Heft 3, S. 69-72.

BUND – BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND (2007): Stromanbindung von Offshore Windparks und Ausbau des Hochspannungsnetzes in Deutschland. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20051115_energie_stromanbindung_hintergrund.pdf. Abruf am 2010-08-04.

BUNDESVERBAND BODEN (2003): Bodenbezogene Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in der Bauleitplanung. Vorschläge des Bundesverbandes Boden, Fachausschuss. „Bewertung von Böden in der Bauleitplanung“. - In: ROSENKRANZ/BACHMANN/KÖNIG/EINSELE (Hrsg.) (2005): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Band 2. Berlin.

BUWAL - BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (2005): Elektrosmog in der Umwelt. Bern.

DANISH AGENCY FOR SPATIAL AND ENVIRONMENTAL PLANNING AND ENERGINET.dk 2010: Improvement of the visual impact of the 400 kV grid. Fredericia, Danmark

DENA (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR) (2005): Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahre 2020 (dena-Netzstudie I), Berlin.

DEUTSCHE UMWELTHILFE - FORUM NETZINTEGRATION ERNEUERBARE ENERGIEN (2010): Plan N - Handlungsempfehlungen für Politik und Planung zum Netzausbau. Entwurf.

E.ON NETZ GMBH 2006: Elektrische und magnetische Felder. Bayreuth.

E.ON NETZ GMBH 2008: 380kV-Leitung Maade-Conneforde einschließlich Anschluss Maade I (EBLD) und II (EKW). Umweltstudie im Hinblick auf die Erfordernisse gem. §7 ff. NNatG und §6 UVPG.

ECOFYS (2008): Study in the comparative merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables. Köln.

ECOFYS GERMANY GMBH, UNIVERSITY OF DUISBURG-ESSEN, GOLDER ASSOCIATES IRELAND (2008): Study on the comparative Merits of Overhead Electricity Transmission Lines versus Underground Cables. Im Auftrag Department of Communications, Energy and Natural Resources, Ireland.

ENGEHAUSEN, B. 2009: Vergleichende umweltfachliche Untersuchung der Auswirkungen von 380kV Hochspannungsfrei- und -erdleitungen auf das Landschaftsbild und der Einflussfaktoren auf den Kompensationsbedarf. Diplomarbeit am Inst. f. Umweltplanung der Leibniz Univ. Hannover

ERM - ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT GMBH (2007): 380-kV-Höchstspannungsverbindung Wahle-Mecklar Unterlage zur Antragskonferenz ROV Niedersachsen. Im Auftrag der E.ON Netz GmbH. Bayreuth.

ERM - ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT GMBH (2008): 380-kV-Leitung Maade – Conneforde einschließlich Anschluss Maade I (EBLD) und II (EKW). Umweltstudie im Hinblick auf die Erfordernisse gem. § 7ff NNatG und § 6 UVPG. Kiel.

ERM - ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT GMBH (2010): 380-kV-Höchstspannungsverbindung Wahle-Mecklar Unterlage zum Raumordnungsverfahren Niedersachsen, Band C Umweltverträglichkeitsstudie. Im Auftrag der Transpower Stromübertragungs-GmbH. Bayreuth.

ERM - ENVIRONMENTAL RESOURCES MANAGEMENT GMBH (2010a): 380-kV-Höchstspannungsverbindung Wahle-Mecklar Unterlage zum Raumordnungsverfahren Hessen, Band C Umweltverträglichkeitsstudie. Im Auftrag der Transpower Stromübertragungs-GmbH. Bayreuth.

EU-ARTENSCHUTZVERORDNUNG – Verordnung Nr. 338/97 des Rates vom 9. Dezember 1996 über den Schutz von Exemplaren wildlebender Tier- und Pflanzenarten durch Überwachung des Handels (ABl. L 61 vom 3.3.1997, S. 1, L 100 vom 17.4.1997, S. 72, L 298 vom 1.11.1997, S. 70, L 113 vom 27.4.2006, S. 26), zuletzt geändert durch Verordnung (EG) Nr. 318/2008 (ABl. L 95 vom 8.4.2008, S. 3)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2007): Leitfaden zum strengen Schutzsystem für Tierarten von gemeinschaftlichem Interesse im Rahmen der FFH-Richtlinie 92/43/EWG.

EUROPEAN COMMISSION (1999): Council recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC)

EUROPEAN COMMISSION (2002): Implementation report on the Council recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)

FANGRATH, M. (2003): Verhaltensbiologische Ursachen von Leitungsanflügen beim Weißstorch (*Ciconia ciconia*). Fauna Flora Rheinland-Pfalz 10,(1): S. 209–228.

FBG-FREILEITUNGSBAU GMBH (2008): Immissionsbericht für das Projekt / Vorhaben: 380-kV-Leitung Maade-Conneforde, 380-kV-Leitung Anschluss Maade I (EBLD), 380-kV-Leitung Anschluss Maade II (EKW).

FHH-RICHTLINIE – FAUNA FLORA HABITAT-RICHTLINIE 92/43/EWG, vom 21. Mai 1992, ABl. EG L 206 S. 7, zuletzt geändert am 20. November 2006, ABl. EG L 363 S. 368

FIEDLER, G.; WISSNER, A. (1989): Weißstorch-Unfälle an Freileitungen und Abhilfemaßnahmen. Schriftenreihe DDA(10): S. 423–424.

FLADE, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. – IHW-Verlag, Eching. 879 S.

FORWIND (2005): Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz. Technische, betriebswirtschaftliche und umweltfachliche Beurteilung von Freileitung, VPE-Kabel und GIL am Beispiel der 380-kV-Trasse Ganderkesee – St. Hülfe. Oldenburg und Hannover.

FROST, D. (2008): The use of ‘flight diverters’ reduces mute swan *Cygnus olor* collision with power lines at Abberton Reservoir, Essex, England. *Conservation Evidence*(5): S. 83–91.

GAREIS-GRAHMANN, J. (1993): Landschaftsbild und Umweltverträglichkeitsprüfung. Beiträge zur Umweltgestaltung A 132, Erich Schmidt Verlag, Berlin

GARNIEL, A., DAUNICHT, W.D., MIERWALD, U. & U. OJOWSKI (2007): Vögel und Verkehrslärm. Quantifizierung und Bewältigung entscheidungserheblicher Auswirkungen von Verkehrslärm auf die Avifauna. Schlussbericht November 2007 / Kurzfassung. – FuE Vorhaben 02.237/2003/LR des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. 273 S.. – Bonn und Kiel.

GASSNER, E. (2004): Die Zulassung von Eingriffen trotz artenschutzrechtlicher Verbote. In: *Natur und Recht*, Jg. 26, H. 09/04, S. 560–564.

GASSNER, E. 1995: Das Recht der Landschaft. Gesamtdarstellung für Bund und Länder. Neumann Verlag

GATTER, W. (2000): Vogelzug und Vogelbestände in Mitteleuropa: 30 Jahre Beobachtung des Tagzugs am Randecker Maar. Aula-Verlag, 656 Seiten.

GEISLER, J. (2007): Beachtung des Artenschutzrechtes bei der Planfeststellung. Überarbeitung des Vermerkes vom 31.01.2006 mit Erläuterungen vom 23.05.2006, Kiel.

GELLERMANN, M. (2003): Artenschutz in der Fachplanung und der kommunalen Bauleitplanung. In: *Natur und Recht*, Jg. 25, H. 07/03, S. 385–394.

GELLERMANN, M. (2009): Europäischer Gebiets- und Artenschutz in der Rechtsprechung. In: *Natur und Recht* Jg. 31, Heft 8: 8-13.

GEO - GESELLSCHAFT FÜR ENERGIE UND ÖKOLOGIE MBH, Universität Duisburg - Essen, GFN - Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH (2009): Naturschutzfachliche Analyse von küstennahen Stromleitungen. FuE-Vorhaben FKZ 80682070. Endbericht.

GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. (1994): Handbuch der Vögel Mitteleuropas. Band 9. Columbiformes – Piciformes Tauben, Kuckucke, Eulen, Ziegenmelker, Segler, Racken, Spechte. 2., durchgesehene Auflage. AULA-Verlag

HAAS, D., NIPKOW, M. (2005): Vorsicht: Stromschlag! Empfehlungen zum Vogelschutz an Energiefreileitungen. Abruf am 2010-02-10.

- HAAS, D., NIPKOW, M., FIEDLER, G., SCHNEIDER, R., HAAS, W., SCHÜRENBERG, B. (2003): Vogelschutz an Freileitungen. Tödliche Risiken für Vögel und was dagegen zu tun ist: ein internationales Kompendium. Abruf am 2010-02-08.
- HAAS, D.; NIPKOW, M. (2008): Stromtod von Vögeln. Grundlagen und Standards zum Vogelschutz an Freileitungen ; Stand der Erkenntnisse, gesetzliche Vorgaben, internationale Abkommen, weltweiter Handlungsbedarf.
- HAMANN, H.J.; SCHMIDT, K.H.; WILTSCHKO, W. (1998): Mögliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder auf die Brutbiologie von Vögeln am Beispiel einer Population von höhlenbrütenden Singvögeln an einer Stromtrasse. Vogel und Umwelt(9): S. 215–246.
- HAVELKA, P.; GÖRZE, H.J.; STEFAN, H. (1997): Vogelarten und Vogelschlagopfer an Freileitungen. Ergebnisse von Trassenbegehungen mit Bestandserhebung und Hundesuche. Vogel und Umwelt(9): S. 93–110.
- HEIJNIS, R. (1976): Vogels onderweg Ornithologische mortaliteits en milieu aspecten van bovengrondse hoogspanningstraces. Koog a.d. Zaan: 159.
- HEIJNIS, R. (1980): Vogeltod durch Drahtanflug bei Hochspannungsleitungen. Ökol. Vogel(2): S. 111–129.
- HELLBERG-RODE, G. (2004): Projekt Hypersoil. hypersoil.uni-muenster.de/0/05/04.htm
- HEYDEN, D. (2008): Auskunft per Email über Heißeiterseile. Schweizer Vogelwarte
- HOERSCHELMANN, H. (1997): Wieviele Vögel fliegen gegen Freileitungen? UVP-report. UVP-Report(3): S 166–168.
- HOERSCHELMANN, H.; HAAK, A.; WOHLGEMUTH, F. (1988): Verluste und Verhalten von Vögeln an einer 380-kV-Freileitung. Ökol. Vogel(10): 85–103 S.
- HÖLZINGER, J. (1987): Vogelverluste durch Freileitungen. In: Hölzinger, J. (Hrsg.), Die Vögel Baden-Württembergs, Teil 1, S. 202-224.
- HÖTKER, H. (2004): Vögel der Agrarlandschaft. Bestand, Gefährdung, Schutz. Manuskript
- HÜPPOP, O. (2004): Luftfahrzeuge, Windräder und Freileitungen: Störungen und Hindernisse als Problem für Vögel? Festvortrag anlässlich des 40-jährigen Bestehens des DAVVL e.V. Vogel und Luftverkehr 24,(2): S. 27–45.
- IBNI – INGENIERUBÜRO NICKEL GMBH (2008): Umweltverträglichkeitsuntersuchung Erdgasfernleitung OPAL Abschnitt Mecklenburg-Vorpommern. Bad Honnef.
- IBNI – INGENIERUBÜRO NICKEL GMBH (2008a): Erdgasfernleitung OPAL Abschnitt Mecklenburg-Vorpommern - Untersuchungen nach §42 BNatSchG. Bad Honnef.
- IBU – INGENIERURBÜRO SCHÖNEICHE (2007): Planfestellungsverfahren 380-kV-Freileitung Krümmel-Görries Teilabschnitt Mecklenburg-Vorpommern. Umweltverträglichkeitsstudie UVS Stufe II. Berlin Schöneiche.

- ICNIRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION) 2010: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 Hz). (<http://www.icnirp.de/documents/LFgdl.pdf>)
- ICNIRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION) 1998: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74(4): 494-522
- ICNIRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION) 2009: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics* 96(4): 504-514
- INGENIOUSSOFTWARE 2010: Freileitungsplanung mit Synoptra. Internetdarstellung: www.synoptra.de
- JANSS, G.F. E.; FERRER, M. (1997): Rate of Bird Collision with Power Lines: Effects of Conductor-marking and static Wire-marking. *J. Field Ornithol* 69,(1): S. 8–17.
- JARASS, L., APFELSTEDT, G., OBERMAIR, G. M. (1996): Hochspannungsleitungen.- In: Strom/Bunge (Hrsg.) (2009): Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung (HdUVP). Berlin.
- JEDICKE, E. (Hrsg.) (1997): Die Roten Listen. Gefährdete Pflanzen, Tiere, Pflanzengesellschaften und Biotoptypen in Bund und Ländern. Stuttgart.
- JESSEL, B. (1998): Das Landschaftsbild erfassen und darstellen. Vorschläge für ein pragmatisches Vorgehen. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung*, Jg. 30, H. 11/98, S. 356–361.
- JESSEL, B., P.FISCHER-HÜFTLE, D. JENNY U. A. ZSCHALICH 2003: Erarbeitung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen für Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes — Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 89982130 des Bundesamtes für Naturschutz. Bonn
- KAHLERT, J., HÜPPOP, K., HÜPPOP, O. (2005): Construction of a fixed link across Fehmarnbelt: preliminary risk assessment on birds, National Environmental Research Institute.
- KEMA IEV (2008): Machbarkeitsuntersuchung zur Gesamt- oder Teilverkabelung der 380-kV-Leitung „St. Peter – Tauern“ im Bundesland Salzburg. Endfassung. Österreich/Deutschland.
- KLÖPPEL U. KRAUSE 1996: Windkraftparks in der Erholungslandschaft: Standortprobleme unter dem Aspekt von Landschaftsbild und Erholungsqualität. Academia Verlag, St. Augustin
- KOOP, B., ULLRICH, N. (1999): Vogelschutz und Mittelspannungsleitungen. Studie zur Ermittlung des Gefährdungspotenzials in Schleswig-Holstein. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein.
- KOOPS, F.B. J. (1997): Markierung von Hochspannungsfreileitungen in den Niederlanden – Vogel und Umwelt. Sonderheft Vögel und Freileitungen. *Vogel und Umwelt, Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen*(9): S. 276–278.
- KRAUSE, C. (2000): Naturschutzfachlich begründete Abstandsempfehlungen zu Bereichen mit schutzwürdigem Landschaftsbild. In WINKELBRANDT et al.: *Empfeh-*

lungen des Bundesamtes für Naturschutz zu naturschutzverträglichen Windkraftanlagen. Landwirtschaftsverlag, Münster.

KRAUSE, C., KLÖPPEL, D. (1996): Landschaftsbild in der Eingriffsregelung - Hinweise zur Berücksichtigung von Landschaftsbildelementen - Ergebnisse aus den F + E-Vorhaben 808 01 139 des Bundesamtes für Naturschutz. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz, (Angewandte Landschaftsökologie).

KUHN, CH. u. FEISTEL, E. (2010): WKSP Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude. Teil III TU Braunschweig; Institut für Gebäude- und Solartechnik - IGS

LANA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT NATURSCHUTZ (2010): Hinweise zu unbestimmten Rechtsbegriffen des Bundesnaturschutzgesetz.

LAND BRANDENBURG (1997): Brandenburgisches Naturschutzgesetz – BbgNatSchG. Gesetz über den Naturschutz und die Landschaftspflege im Land Brandenburg . Vom 25. Juni 1992 (GVBl.I/92 S.208), zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.12.1997

LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (2004): Elektromog. Gefahr durch elektromagnetische Felder? Essen.

LANGGEMACH, T. (1997): Stromschlag oder Leitungsanflug? Erfahrungen mit Großvogelopfern in Brandenburg. Vogel und Umwelt(9): S. 167–176.

LAUKHUF PLANUNGSBÜRO (2007): 380-kV-Freileitung zwischen dem Umspannwerk Hamburg/Nord (Schleswig-Holstein) und dem Umspannwerk Dollern (Niedersachsen). http://www.transpower.de/pages/tso-netzausbau_de/Projekte/HamburgNord_-_Dollern/Trassenverlauf/HHND_Scopingunterlage_hd.pdf

LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2008): Schutzwürdige Böden Niedersachsen.- In GeoBerichte 8/2008. Hannover.

LEBERT, M. (2008): Herleitung und Darstellung der potenziellen, mechanischen Verdichtungsempfindlichkeit für Unterböden von Ackerflächen der Bundesrepublik Deutschland. Zwischenergebnisse aus dem UBA-Vorhaben: „Entwicklung eines Prüfkonzeptes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden“ FKZ 3707 71 202, Dessau-Roßlau.

LEBERT, M.B. J. S. C. (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr, Berlin.

LFUG & FÖA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND GWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ & FAUNISTISCHÖKOLOGISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT (1997): Planung vernetzter Biotopsysteme. Bereiche Landkreis Kaiserslautern und Stadt Kaiserslautern.. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz & Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Oppenheim.

LITZBARSKI, B.; LITZBARSKI, H. (1996): Zur Situation der Großtrappe *Otis tarda* in Deutschland. Vogelwelt(117): S. 213–224.

LOSCH, S., NAKE, R. (1988): Direkte und indirekte Flächenansprüche der technischen Infrastruktur als Problem des Bodenschutzes. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung. Bonn.

MEIßNER, K. (2006): Problem Kabelwärme? Fakten und Wissenslücken. PPT-Präsentation zum Fachgespräch dena am 20.06.2006, Bremen).

MEYBURG, B.U.; MANOWSKY, O.; MEYBURG, C. (1995): Bruterfolg von auf Bäumen bzw. Gittermasten brütenden Fischadlern *Pandion haliaetus* in Deutschland. *Vogelwelt*(116): S. 219–224.

MILJÖMINISTERIET 2010: Improvement of the visual impact of the 400 kV grid. Studie in Kooperation mit Energinet.DK

MINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND LANDESENTWICKLUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN (2008): landesplanerische Beurteilung zum Raumordnungsverfahren Norddeutsche Erdgasleitung (NEL) Abschnitt Greifswald / MV – Hittbergen /NI. Schwerin.

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS MECKLENBURG-VORPOMMERN 2008: 380-kV-Leitung Krümmel-Schwerin/Görries, Umweltfachlicher Variantenvergleich (Freileitung-Kabel), Schwerin.

MINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND LANDWIRTSCHAFT UND DES MINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND VERKEHR SCHLESWIG HOLSTEIN vom 25.11.2003. Amtsbl.Schl.-H. 2003

MLUR – MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG (2006): Adlerschutz. Lebensraum Wald 16. Forstliche Naturschutz-Tipps.

MÖCKEL, R., WIESNER, T. (2007): Zur Wirkung von Windkraftanlagen auf Brut- und Gastvögel in der Niederlausitz (Land Brandenburg). www.abbo-info.de. Abruf am 2010-02-09.

MOURITSEN, H., RITZ, T. (2005): Magnetoreception and its use in bird navigation. *Current Opinion in Neurobiology* 15, S. 406-414.

MUGV – MINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2003): Tierökologische Abstandskriterien für die Errichtung von Windenergieanlagen in Brandenburg.

MUNL 2003: Grundsätze zur Planung von Windenergieanlagen (Ergänzung für

NEITZKE, H.P., OSTERHOFF, J. (2010): Grenzwerte, Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz der Bevölkerung vor niederfrequenten und statischen elektrischen und magnetischen Feldern. Studie im Auftrag des Energieforschungszentrums Niedersachsen. ECOLOG Institut Hannover, 11 Seiten.

NIEDERSÄCHSISCHE STAATSKANZLEI REFERAT 104 (2007): Fakten zum Netzausbau. Hannover.

NLT - NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG (2009): Hochspannungsleitungen und Naturschutz. Hinweise zur Anwendung der Eingriffsregelung beim Bau von Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen und Erdkabeln. Hannover.

NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2010B): Vollzugshinweise zum Schutz von Brutvogelarten in Nieder-

sachsen. Teil 2: Wertbestimmende Brutvogelarten der EU-Vogelschutzgebiete mit Priorität für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen – Schwarzstorch (*Ciconia nigra*). – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 7 S., unveröff.

NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2010C): Vollzugshinweise zum Schutz von Brutvogelarten in Niedersachsen. Teil 2: Wertbestimmende Brutvogelarten der EU-Vogelschutzgebiete – Raufußkauz (*Aegolius funereus*). – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 6 S., unveröff.

NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2010D): Vollzugshinweise zum Schutz von Brutvogelarten in Niedersachsen. Teil 2: Wertbestimmende Brutvogelarten der EU-Vogelschutzgebiete – Sperlingskauz (*Glaucidium passerinum*). – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 6 S., unveröff.

NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2010E): Vollzugshinweise zum Schutz von Brutvogelarten in Niedersachsen. Teil 2: Wertbestimmende Brutvogelarten der EU-Vogelschutzgebiete – Schwarzspecht (*Dryocopus martius*). – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 7 S., unveröff.

NLWKN – NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2009): Vollzugshinweise zum Schutz von Brutvogelarten in Niedersachsen. Teil 1: Wertbestimmende Brutvogelarten der Vogelschutzgebiete mit höchster Priorität für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen – Rotmilan (*Milvus milvus*). – Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Hannover, 7 S., unveröff.

NNA (ALFRED TOEPFER AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ, HRG.) (1997): Natur- und Landschaftserleben – Methodische Ansätze zur Inwertsetzung und Zielformulierung in der Landschaftsplanung). Mitteilungen aus der NNA 8. Jg. Heft 1.

NOHL, W. 1993: Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe – Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung. Kirchheim Hrsg.: Ministerium für Landwirtschaft und Naturschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern.

NWALDLG - NIEDERSÄCHSISCHES WALDGESETZ, vom 21. März 2002, Nds. GVBl. S. 112, zuletzt geändert am 26.03.2009

OBERFELD, G. (2006): Prüfkatalog des Fachbereiches Umweltmedizin für das Vorhaben 380kV- Freileitung von St. Peter a. H. zum Umspannwerk Salzach Neu (Salzburgleitung) der Verbund-Austrian Power Grid AG. Amt der Salzburger Landesregierung; Fachabteilung Landessantitätsdirektion; Referat Gesundheit, Hygiene und Umweltmedizin. Salzburg.

PARTL & ABERLE (2005): Nachhaltiges Trassenmanagement. Leitbilder - Steiermark, Kärnten.

- PAUL, H.-U., D. UThER, M. NEUHOff, K. WINKLER-HARTENSTEIN, H. SCHMIDTKUNZ U. J. GROBNICK 2004: GIS-gestütztes Verfahren zur Bewertung visueller Eingriffe durch Hochspannungsfreileitungen – Herleitung von Kompensationsmaßnahmen für das Landschaftsbild, in: Naturschutz und Landschaftsplanung – Zeitschrift für Angewandte Ökologie, Jg. 36, Heft 5/2004, S. 139-144, Stuttgart.
- PATIL, R.H., LAEGSMAND, M., OLESEN, J.E., PORTER, J.R. 2010: Growth and yield response of winter wheat to soil warming and rainfall patterns. The Journal of Agricultural Science. Online Publication July 01 2010.
- PETER, MATTHIAS; MILLER, RICARDA; KUNZMANN, GÜNTHER; SCHITTENHELM, JÜRGEN (2009): Bodenschutz in der Umweltprüfung nach BauGB. Leitfaden für die Praxis der Bodenschutzbehörden in der Bauleitplanung. Herausgegeben von Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).
- PETERSEN, B., ELLWANGER, G., BIEWALD, G., HAUKE, U., LUDWIG, G., PRETSCHER, P., SCHRÖDER, E., SSYMANK, A. (Bearb.) (2003): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 1: Pflanzen und Wirbellose.
- PLANUNGSGRUPPE ÖKOLOGIE + UMWELT GMBH (2003): Zusammenfassung und Strukturierung von relevanten Methoden und Verfahren zur Klassifizierung und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit. Endbericht des Forschungsvorhabens der LABO.
- RICHARZ, K. (1998): Vogelverluste an Freileitungen: Massensterben oder Einzelschicksale? DER FALKE 7/8, 1998.
- RICHARZ, K. (2001): Taschenbuch für Vogelschutz. 29 Tabellen. Aula-Verl., Wiebelsheim.
- RIECKEN, U., FINK, P., RATHS, U., SCHRÖDER, E., SSYMANK, A. (2003): Standard-Biotoptypenliste für Deutschland – 2. Fassung: Februar 2003. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 75.
- ROTH, M. UND GRUEHN, D. 2010: Modellierung von Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft. Kriterien zur Bestimmung von Landschaftsbildqualitäten für große Räume. Natur und Landschaft 42 (4) 2010 S. 115-120.
- RUNGE K., NOMMEL, J. (2006): Methodik der Landschaftsbildanalyse bei der Umweltverträglichkeitsprüfung von Offshore-Windenergieparks. In Storm u. Bunge Hrsg: Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung, 18 S. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- RYSLAVY, T.; PUTZE, M. (2000): Zum Schwarzstorch (*Ciconia nigra* [L., 1758]) in Brandenburg. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 9,(3): S. 88–96.
- SCHNITTER, P., EICHEN, C., ELLWANGER, G., NEUKIRCHEN, M., SCHRÖDER, E. (2006): Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland, Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Halle), Sonderheft 2.
- SCHUMACHER, A. (2002): Die Berücksichtigung des Vogelschutzes an Energiefreileitungen im novellierten Bundesnaturschutzgesetz. In: Naturschutz in Recht und Praxis - online 1: 2-12, www.naturschutzrecht.net/online-zeitschrift/NRPO_Heft1.pdf.

SCOTT, R.E.; ROBERTS, L.J.; CADBURY, C.J. (1972): Bird deaths from power lines at Dungeness. *British Birds* 65: S. 273–286.

SELLIN, D. (2000): Ein Jahr unter Hochspannung - Beobachtungen zu den Auswirkungen von Freileitungen auf die Vogelwelt. *Ornithologischer Rundbrief für M-V*(42): S. 53–67.

SELLIN, D. (2010): Anmerkungen zu den Untersuchungen an einer 380-kV-Freileitung nahe des Kernkraftwerkes (KKW) Lubmin. Email vom 21.02.2010, Greifswald.

SILNY, J. (1997): Die Fauna in den elektromagnetischen Feldern des Alltags. *Vogel und Umwelt*(9): S. 29–40.

SILNY, J. et al. (2001-2011): Forschungsberichte des Forschungszentrums für Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (femu). <http://www.femu.rwth-aachen.de/publikationen.php?l=g>

SOSSINKA, R. (2000): Hochspannungsfreileitungen in der Landschaft – für Vögel mehr als ein ästhetisches Problem. *Forschung an der Universität Bielefeld - Forschung im Dienst der Umwelt*(22): S. 19–22.

SPONAGEL, H., GROTTENTHALER, W., HARTMANN, K. -J., HARTWICH, R., JANETZKOW, P., JOISTEN, H., KÜHN, D., SABEL, K. -J., TRIDL, R. (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Auflage. Hannover: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

SSK - STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2001): Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern. Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung. – Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Heft 29 /2001. München, Jena.

SSK - STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2004): Elektromagnetische Felder neuer Technologien. Empfehlung der Strahlenschutzkommission zum Schutz der Bevölkerung und Statusbericht der Strahlenschutzkommission. – Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Heft 41 (2004). Bonn.

SSK - STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2008): Jahresbericht 2007 der Strahlenschutzkommission.- Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Heft 55/2008. Berlin.

SSK - STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (2009): Jahresbericht 2008 der Strahlenschutzkommission. – Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Heft 59 (2009). Berlin.

SSK (STRAHLENSCHUTZKOMMISSION) 2008: Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 221. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 21./22.02.2008

THE BELGIAN BIOELECTROMAGNETIC GROUP (BBEMG) (2010): Standards. <http://www.bbemg.ulg.ac.be/UK/3EMFHealth/standards.html> (03/2010)

Transpower (2010): Raumordnungsverfahren zur 380-kV-Höchstspannungsverbindung Wahle – Mecklar. Erläuterungsbericht und allgemein verbindliche Zusammenfassung. Braunschweig.

TRAUTNER, J. (2008): Artenschutz im novellierten BNatSchG – Übersicht. In: Institut für Naturschutz und Naturschutzrecht Tübingen (Hg.): Naturschutz in Recht und Praxis - online (Heft 1), Heft 1, S. 2-20.

TRÜBY, P. UND UTHNER, D. (2011): Wärmeemission von Hochspannungserdkabeln -Ergebnisse eines Feldexperiments zur Einschätzung der Auswirkungen auf den Boden. Powerpointpräsentation über eine Studie im Auftrag der Amprion GmbH. TU-Hannover 22.2.2011.

UNION OF THE ELECTRICITY INDUSTRY, ENVIRONMENT & SOCIETY WORKING GROUP (2006): EMF Exposure Standards Applicable in Europe and Elsewhere

UTHER, D., BRAKELMANN, H., STAMMEN, J., ALDINGER, E., TRÜBY, P.(2009): Wärmeemission bei Hoch- und Höchstspannungskabeln - Freilandexperiment und Simulation. VWEW Energieverlag GmbH, Sonderdruck Nr. 6290 aus EW 2009 H. 10, S. 66-74.

UVPG – UVP-GESETZ, in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005, BGBl. I S. 1757, zuletzt geändert am 11. August 2009, BGBl. I S. 2723, Inkrafttreten am 01.03.2010

VATTENFALL (2005): Höchstspannungsnetze: Freileitung oder Kabel? Eine Analyse der Vattenfall Europe AG mit dem Beispiel des 380-kV-Kabelprojekts in Berlin.-Vattenfall Europe: Wissen 01/05.

WACHTER, T. ; LÜTTMANN, J. ; MÜLLER-PFANNENSTIEL, K. (2004): Berücksichtigung von geschützten Arten bei Eingriffen in Natur und Landschaft. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, Jg. 36, H. 12.

WEIGEL, J. 2007: Kompensationsflächenberechnung für Freileitungen. Hannover, 2007

WEIGEL, J. U. J. FALKENHAGEN 2005: Software simuliert Wirkung auf das Landschaftsbild – Ex-Ante-Sichtbarkeitsanalyse für Großräume am Beispiel einer Freileitungstrasse durch Niedersachsen, in: Erneuerbare Energien, Jg. 15, Heft 8/2005, S. 28-31

WHG 2010 – WASSERHAUSHALTSGESETZ 2010, in der Fassung der Bekanntmachung der Neufassung vom 31. Juli 2009, Inkrafttreten am 1.3.2010

WHO – WORLD HEALTH ORGANISATION (2001): Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit. – International EMF Project. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs263/en/> Abgerufen am 2010-08-09.

WHO 2010: International EMF-Project. EMF World Wide Standards. <http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Worldmap5.htm> (03/2010)

WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2001: Windfibel: Windenergienutzung, Technik, Planung und Genehmigung. Stuttgart.

WRRL – WASSERRAHMENRICHTLINIE 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, vom 23. Oktober 2000, ABl. EG L 327 S. 1, zuletzt geändert am 23. April 2009, ABl. EG L 140 S. 114

ZEHFUß, H. D. (2005): Energieversorgungsunternehmen in Rheinland-Pfalz – ein Beitrag zum Weißstorchschutz (I). Pollichia-Kurier 21,(1): S. 15–20.

ZEWE, R. 1996: Einfluß von Freileitungen auf das Landschaftsbild – Neue und verbesserte Verfahren zur Beurteilung der Sichtbarkeit. Dissertation. Saarbrücken

ZEWE, R. U. M. GROß 1997: Sichtbarkeit von Freileitungen. Sonderheft der ELEKTRIE anlässlich des 60. Geburtstags von Prof. Dr.-Ing. H.-J. Koglin. Zürich.

Anhang 1: Gesetzliche Grenzwerte sowie staatliche Vorschriften und Empfehlungen zum Schutz vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern; nachrichtliche Übernahme aus: Neitzke, H.P., Osterhoff, J. (ECOLOG) 2010.

Tabelle 1: Gesetzliche Grenzwerte sowie staatliche Vorschriften und Empfehlungen

Institution/Vorschrift (Jahr)	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [iT]	Bemerkung
Australien National Health and Medical Research Council Interim guidelines on limits of exposure to	Bevölkerung, ganztägige Exposition	50/60	5.000	100	unverbindliche Richtlinien; gesetzliche Vorschriften in Vorbereitung (Australian Radiation)
	Bevölkerung, kurzzeitige Exposition		10.000	1.000	
Europäische Union Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electro-magnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC) (1999)	Bevölkerung	50	5.000	100	Empfehlung zur Umsetzung durch die Mitgliedsstaaten
Belgien Arrêté Ministériel/Ministerieel Besluit (1987/88)	Bevölkerung, Überlandleitungen	50	10.000		Allgemeine Vorschriften für elektrische Installationen
	Bevölkerung, Überlandleitungen über bewohnten Gebieten		5.000		
Dänemark Keine gesetzlichen Grenzwerte, Empfehlung zur Anwendung des Vorsorgeprinzips: keine Hochspannungsleitungen in der Nähe von Wohnungen (1993)					

Institution/Vorschrift (Jahr)	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [µT]	Bemerkung
Deutschland					
26. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz	Bevölkerung, gewerblich genutzte Anlagen, Dauerexposition	50	5.000	100	
	Bevölkerung, gewerblich genutzte Anlagen, kurzfristige Überschreitung		10.000	200	
Bundesland Bremen					
Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales Empfehlung zur Gesundheitsvorsorge bei Niederfrequenzanlagen (2004)	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen	50		0,3	
Bundesland Nordrhein-Westfalen					
Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) Abstandserlass (2004)	Bevölkerung, Hochspannungs-freileitungen	50		10	
Finnland					
Decree on the limitation of exposure of the public to non-ionizing radiation 294/2002, based on the Law on radiation protection 592/1991, 43 (2002)	Bevölkerung, längere Exposition	50	5.000	100	Empfehlung
	Bevölkerung, kurzzeitige Exposition		15.000	500	
Frankreich					
Erlass über technische Anforderungen an Stromversorgungssysteme (2001)	Bevölkerung, Stromversorgungsanlagen	50	5.000	100	Empfehlung für lokale Behörden

Institution/Vorschrift (Jahr)	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [μ T]	Bemerkung
Großbritannien					
National Radiological Protection Board (NRPB)/Health Protection Agency: Advice on Limiting Exposure to Electro-magnetic Fields (0-300 GHz) (2004)	Bevölkerung	50	5.000	100	verbindliche Empfehlung in Verbindung mit Health and Safety at Work Act (1974)
Italien					
Ministerpräsident Erlass (Gazzetta Ufficiale della Repubblica)	Bevölkerung	50	5.000	100	entsprechend EU Empfehlung
	Bevölkerung, 24 h-Median, für tägliche Expositionszeiten > 4 h			10	
	Bevölkerung, Qualitätsziel			3	
Region Emilia Romagna					
Emilia-Romagna: legge sull'elettromog Legge Regionale 31 Ottobre 2000 n.30	Bevölkerung, Aufenthaltsdauer > 4 h	50		0,2	vom Verfassungsgericht als rechtlich bindend bestätigt
Region Toscana					
Regione Toscana - Regolamento in materia di linee elettriche ed impianti elettrici Regolamento relativo alla legge n.51 - 11 agosto 1999	Bevölkerung, Aufenthaltsdauer > 4 h	50		0,2	vom Verfassungsgericht als rechtlich bindend bestätigt
Region Veneto					
Bollettino Ufficiale della Regione del Veneto - 26-10-1999 - N. 93 Legge Regionale 22 ottobre 1999, n.48	Bevölkerung, Aufenthaltsdauer > 4 h	50	500	0,2	24 h-Durchschnitts-Zielwert für neu zu errichtende Versorgungsleitungen

Institution/Vorschrift (Jahr)	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [µT]	Bemerkung
Japan Ministerium für Internationalen Handel und Industrie Technical Standards for e-letrical facilities, Article 112 (1973)	Bevölkerung, Hochspannungsfreileitungen	50	3.000		nicht anzuwenden in Gebieten, in denen sich Menschen selten aufhalten
Kanada keine gesetzlichen Grenzwerte oder Vorschriften für den Niederfrequenzbereich					
Niederlande Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment Letter on Overhead Powerlines (2005)	Bevölkerung, Hochspannungsfreileitungen	50	5.000	100	Hinweise für lokale Behörden und Anlagenbetreiber, gesetzliche Vorschriften in Vorbereitung
	Kinder, Hochspannungsleitungen, lang andauernde Exposition, Jahresmittel			0,4	
Gesundheitsrat Österreich Österreichisches Normungsinstitut ÖVE/ÖNORME 8850:2006-02-01 (Vornorm) (2006)	Bevölkerung	50	8.000	120	
	Bevölkerung	50	5.000	100	
Polen Erlass des Umweltministeriums (2003)	Bevölkerung Bevölkerung, Wohngebiete	50	10.000 1.000	48 48	
Portugal Regierung Gesetz	Bevölkerung, längere Expositionszeit	50	5.000	100	
Schweden					

keine gesetzlichen Grenzwerte, verbindliche Anwendung des Vorsorgeprinzips

Schweiz			
Bundesrat Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) (2000)	Bevölkerung, Dauerexposition *	100	
	Bevölkerung, Dauerexposition, sensible Bereiche	1	Daueraufenthaltsbereiche
Spanien			
keine gesetzlichen Grenzwerte oder Vorschriften für den Niederfrequenzbereich			
Tschechien			
Regierung Gesetz No 480/2000 (2001)	Bevölkerung, Dauerexposition	5.000	100
USA			
keine gesetzlichen Grenzwerte oder Vorschriften für den Niederfrequenzbereich			
Bundesstaat Florida			
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen (edge of right-of-way)	2.000	
	230 kV-Trassen		15
	500 kV-Trassen		20
Bundesstaat Minnesota			
	Bevölkerung, generell	8.000	
Bundesstaat Montana			
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen (edge of right-of-way)	1.000	
Bundesstaat New Jersey			
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen (edge of right-of-way)	3.000	

Institution/Vorschrift (Jahr)	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [μ T]	Bemerkung
Bundesstaat New York					
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen (edge of right-of-way)	60	1.600	20	
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen, Kreuzung öffentlicher Straßen	60	7.000		
	Bevölkerung, Hochspannungsleitungen, Kreuzung privater Straßen	60	11.000		
	Bevölkerung, generell	60	11.800		
Bundesstaat Oregon					
	Bevölkerung, zugängliche Bereiche und bewohnte Gebiete	60	9.000		

Anhang 1, Tabelle 2: Grenzwertempfehlungen wissenschaftlicher Gremien

(nachrichtliche Übernahme: Neitzke, H.P., Osterhoff, J. (ECOLOG) 2010.

Organisation	Anwendungsbereich	Frequenz [Hz]	Elektr. Feld [V/m]	Magnet. Feld [μ T]	Bemerkung
BioInitiative Working Group					
BioInitiative 2007	Bevölkerung, Wohngebiete und neue Versorgungsleitungen	50/60		0,1	
	Bevölkerung, andere Bereiche	50/60		0,2	
ICNIRP					
ICNIRP 2009	Bevölkerung	0		400.000	Exposition irgend eines Körperteils
	Bevölkerung, Implantatträger			500	
ICNIRP 1998	Bevölkerung	50	5.000	100	
Strahlenschutzkommission					
SSK 2008	Bevölkerung, Energieversorgungsanlagen	50	5.000	100	keine Ausschöpfung der Grenzwerte, Minimierungsgebot
	Bevölkerung, Energieversorgungsanlagen, Implantatträger, weitere Expositionsbeiträge möglich			10	Vorsorge Implantatträger
	Bevölkerung, Energieversorgungsanlagen, Implantatträger, keine weiteren Expositionsbeiträge möglich			15	

Anhang 2: Modelltrassenabschnitte für exemplarische Darstellungen

Tabelle 1: Allgemeine Charakterisierung

Nr.	Streckencharakter	Naturraum	Bodenlandschaft	Bodentyp
1	Höhenlage, Steigung, besiedelt	Bergland	Lössverbreitungsgebiete	Pseudeogley-Parabraunerde
2	Wechsel von Höhenlage zu Tällage mit Flußquerung, dicht besiedelt	Höhenzüge, Bergland, Becken	Verbreitungsgebiete der Talsedimente, Silikatverbreitungsgebiete	Vega, Braunerde-Regosol, Pseudogley-Braunerde
3	Rezente Auenlage parallel zur Autobahn, schwach besiedelt	Flusslandschaften, Auen u. Niederterrassen, Höhenzüge	Lehmverbreitungsgebiete, Lössverbreitungsgebiete	Kolluvisol unterlagert von Gley, Pseudogley-Parabraunerde, Gley-Schwarzerde
4	Flußquerung, Nähe Autobahn, EU-Vogelschutzgebiete	Flusslandschaften, Auen u. Niederterrassen, Bergland Becken, Höhenzüge	Verbreitungsgebiete der Talsedimente, Löss- u. Karbonatsteinverbreitungsgebiete	Vega, Pseudogley-Parabraunerde, Pararendzina
5	Parallel zur Autobahn, hügelig, kurvig, besiedelt	Bergland, Becken, Höhenzüge	Löss- u. Karbonatsteinverbreitungsgebiete	Pseudogley-Parabraunerde, Rendzina, Pararendzina
6	Parallel zur Autobahn, Flußquerung, schwachbesiedelt nahe EU-Vogelschutzgebieten	Höhenzüge Becken, Bergland Becken	Karbonatstein-, Ton-, Verbreitungsgebiet sowie fluviatiler, glazifluviatiler u. Talsedimente	Pararendzina, Braunerde, Parabraunerde, Gley-Vega
7	Parallel zur Autobahn, wenig besiedelt	Bergvorland, Lossbörde	Lehm- u. Karbonatsteinverbreitungsgebiete	Pseudeogley-Parabraunerde, Parabraunerde
8	Flachland, dünn besiedelt	Lössbörde	Lehmverbreitungsgebiete	Pseudogley-Schwarzerde
9	Flachland, dicht besiedelt, wechsellagernde Böden, u.a. Moor und anderer Weichboden	Geestplatten u. Endmoränen, Bördenvorland	Sandlössverbreitungsgebiete, Talsandgebiete	Braunerde, Parabraunerde, Gley m. Erdniedermoorauflage, Erd-Niedermoor Gley

Tabelle 2: Charakterisierung des Bodens an den Modelltrassenabschnitten

Nr.	Bodentyp	bodenartlicher und geologischer Profilaufbau	Bodenartlicher Profiltyp	Geologischer Profiltyp	Mittlerer Grundwasserhoch und -tiefstand	Bodenkundliche Feuchte-stufe	Übliche Nutzung	Wärmeleitwert W/mK, trocken, 1 m tief	Wärme-widerstand K m/W, trocken, 1 m tief
1	Pseudogley-Parabraunerde	(Lehmschluff//Tonschluff//Lehmschluff_Norma-lehm_Löss_Fließeerde)	lu//tu//lu_II	Lo_fl	>20/>20	5	A	0,5	2
2	Vega	Lehmschluff=Lehmsand=Kies Auen-lehm=fluviale Ablagerungen	lu=ls=G	Lf=f	10/>20	5	A	0,4	2,5
	Braunerde-Regosol	Normallehm//Schluffstein Verwitterung//Mesozokum	ll=^u	vw//ms	>20/>20	3	F	1	1
	Pseudogley-Braunerde	Normallehm//Tonlehm//Schluffstein Hangbildungen//Verwitterung=Mesozokum	ll//tl//^u	hg//vw=ms	>20/>20	5	F	1	1
3	Kolluvisol unterlagert von Gley	Lehmschluff//Normallehm Schwemmlöss//Fließeerde	lu//II	Lou//fl	0,571428571	6	G	0,5	2
	Pseudogley-Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff//Lehmschluff_Norma-lehm_Löss_Fließeerde	lu//tu//lu_II	Lo_fl	>20/>20	5	A	0,5	2
	Gley-Schwarzerde	Lehmschluff_Löss	lu	Lo	0,3125	5	G	0,5	2
4	Vega	Lehmschluff=Lehmsand=Kies Auen-lehm=fluvialeAblagerungen	lu=ls=G	Lf=f	8/>20	5	G	0,5	2
	Pseudogley-Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff//Lehmschluff//Normallehm_Löss_Fließeerde	lu//tu//lu//II	Lo=fl	>20/>20	5	A	0,5	2
	Pararendzina	Schluffton//Kalkstein Verwitterung//Mesozokum	ut//^k	vw//ms	>20/>20	3	A	1	1
5	Pseudogley-Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff//Lehmschluff_Norma-lehm_Löss_Fließeerde	lu//tu//lu_II	Lo_fl	>20/>20	5	A	0,5	2

Nr.	Bodentyp	bodenartlicher und geologischer Profilaufbau	Bodenartlicher Profiltyp	Geologischer Profiltyp	Mittlerer Grundwasserhoch und -tiefstand	Bodenkundliche Feuchte-stufe	Übliche Nutzung	Wärmeleitwert W/mK, trocken, 1 m tief	Wärme-widerstand K m/W, trocken, 1 m tief
	Rendzina	Schluffton//Kalkstein Verwitterung//Mesozoikum	ut//^k	vw//ms	>20/>20	2	F	1	1
	Pararendzina	Schluffton//Kalkstein Verwitterung//Mesozoikum	ut//^k	vw//ms	>20/>20	3	F	1	1
6	Pararendzina	Schluffton//Kalkstein Verwitterung//Mesozoikum	ut//^k	vw//ms	>20/>20	3	A	1	1
	Braunerde	Normallehm//Schluffton//Tonstein Hangbildungen//Verwitterung=Moso-zoikum	ll//ut//^t	hg//vw=ms	>20/>20	4	A	1	1
	Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff=Reinsand Löss=Mittelterrasse	lu//tu=ss	Lo=qM	>20/>20	5	A	0,4	2,5
	Gley-Vega	Lehmschluff=Kies Auenlehm=fluviale Ablagerungen	su=G	Lf=f	6/>20	6	G	0,5	2
7	Pseudoogley-Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff=Sandlehm Löss_Geschiebelehm	lu//tu=sl	Lo_Lg	>20/>20	5	A	0,4	2,5
	Parabraunerde	Lehmschluff//Tonschluff=Mergelstein Löss=Mesozoikum	lu//tu=^m	Lo=ms	>20/>20	4	A	1	1
8	Erd-Niedermoor	Niedermoor	hn	Hn	2/10	8	G	0,5	2
	Gley	Lehmsand//reinsand fluviale Ablagerungen	ls//ss	f	5/16	5/3	A	0,5	2
9	Braunerde	Schluffsand//Reinsand Sand-löss//glazifluviale Ablagerungen	us//ss	Los//gf	>20/>20	3	A	0,4	2,5
	Parabraunerde	Sandschluff//Tonschluff//Reinsand Sandlöss=glazifluviale Ablagerungen	su//tu//ss	Los//gf	>20/>20	5	A	0,5	2
	Gley mit Erdniedermoorauflage	Niedermoor//Reinsand Nieder-moor//fluviale Ablagerungen	hn/ss	Hn/f	2/6	8	G	0,4	2,5

Quellen: Bodencharakteristik der Streckenabschnitte: Bodenübersichtskarte Niedersachsen (BÜK) 1: 50.000. Wärmeleitwerte abgeleitet nach: KUHN, CH. u. FEISTEL, E. (2010). Berechnung der Temperaturverteilungen durch M. Mohrmann, Fachgebiet Elektrische Energieversorgung an der Leibniz Universität Hannover. Legende: A= Acker, G= Grünland, F= Wald, Forst.

Anhang 3: Besonders geschützte Arten

Übersichten zum Vorkommen von nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten

Tabelle A1: Besonders geschützte Amphibien und Reptilien nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten (Quelle: Schnitter et al. 2006)

Amphibien und Reptilien											
Artname	NI	HE	NW	B W	TH	Artname	NI	HE	NW	B W	TH
Geburtshelferkröte	X	X	X	X	X	Seefrosch	X	X	X	X	X
Rotbauchunke	X					Gras-, Taufrosch	X	X	X	X	X
Gelbbauchunke	X	X	X	X	X	Kammolch	X	X	X	X	X
Kreuzkröte	X	X	X	X	X	Schlingnatter	X	X	X	X	X
Wechselkröte	X	X	X	X	X	Europäische Sumpfschildkröte	?	X; W		X	
Laubfrosch	X	X	X	X	X	Zauneidechse	X	X	X	X	X
Knoblauchkröte	X	X	X	X	X	Westliche Smaragdeidechse		?			
Moorfrosch	X	X	X	X	X	Kroatische Gebirgs- eidechse					
Springfrosch	X	X	X	X	X	Östliche Smaragdeidechse					
Kleiner Wasserfrosch	X	X	X	X	X	Würfelnatter					
Alpensalamander				X		Mauereidechse	A	X	X	X	
Wasser- Teichfrosch	X	X	X	X	X	Äskulapnatter		X		X	

Legende: X = Art kommt aktuell im Bundesland vor; W = Wiederansiedlungsprojekt innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, A = Vorkommen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, BB, BY etc. = Kürzel der Bundesländer, ? = Vorkommen fraglich;

Tabelle A2: Besonders geschützte Fledermäuse nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten (Quelle: Schnitter et al. 2006)

Fledermäuse											
Artname	NI	HE	NW	B W	TH	Artname	NI	HE	NW	B W	TH
Mopsfledermaus	X	X	X	X	X	Kleiner Abendsegler	X	X	X	X	X
Nordfledermaus	X	X	X	X	X	Abendsegler	X	X	X	X	X
Breitflügel- fledermaus	X	X	X	X	X	Weißrandfledermaus				X	
Nymphenfledermaus				X		Rauhhaufledermaus	X	X	X	X	X
Bechsteinfledermaus	X	X	X	X	X	Zwergfledermaus	X	X	X	X	X
Große Bartfledermaus	X	X	X	X	X	Mückenfledermaus	X	X	X	X	X
Teichfledermaus	X	X	X		X	Braunes Langohr	X	X	X	X	X
Wasserfledermaus	X	X	X	X	X	Graues Langohr	X	X	X	X	X
Wimperfledermaus				X		Große Hufeisennase				X	
Großes Mausohr	X	X	X	X	X	Kleine Hufeisennase		X		?	X
Kleine Bartfledermaus	X	X	X	X	X	Zweifarb- fledermaus	X	X	X	X	X
Fransenfledermaus	X	X	X	X	X						

Tabelle A3: Besonders geschützte Landsäugetiere nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten (Quelle: Schnitter et al. 2006)

Landsäugetiere											
Artname	NI	HE	NW	B W	TH	Artname	NI	HE	NW	B W	TH
Baumarder				X		Fischotter	X		?		X
Biber	X	W	W	W		Luchs	W	?	X	X	X
Feldhamster	X	X	X	X	X	Haselmaus	X	X	X	X	X
Baumschläfer						Iltis, Waldiltis				X	
Wildkatze	X	X	X		X	Gämse				A	

Legende: X = Art kommt aktuell im Bundesland vor; W = Wiederansiedlungsprojekt innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, A = Vorkommen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, BB, BY etc. = Kürzel der Bundesländer, ? = Vorkommen fraglich;

Tabelle A4: Besonders geschützte Weichtiere, Libellen, Käfer und Schmetterlinge nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten (Quelle: Schnitter et al. 2006)

Weichtiere, Libellen, Käfer und Schmetterlinge											
Artname	NI	HE	NW	B W	T H	Artname	NI	HE	N W	BW	TH
Zierliche Teller-schnecke	X			X		Großer Feuerfalter		?		X	
Weinbergschnecke				X		Blauschillernder Feuerfalter		X	X	X	
Gemeine Fluss-muschel	X	X	X	X	X	Apollofalter				X	
Grüne Mosa-ikjungfer	X					Quendel-Ameisenbläuling	X	X	X	X	X
Asiatische Keil-jungfer	X	X	X	X	X	Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling	X	X	X	X	X
Östliche Moos-jungfer	X				X	Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling		X	X	X	X
Zierliche Moos-jungfer	X			X		Gelbringfalter				X	
Große Moosjungfer	X	X	X	X	X	Schwarzer Apollofalter		X		X	X
Grüne Keiljungfer	X	X	X	X	X	Nachtkerzenschwärmer	X	X	X	X	X
Sibirische Winter-libelle	X		?	X		Vierzähliger Mistkäfer					
Spanische Flagge				X		Heldbock	X	X	X	X	
Abiss-Scheckenfalter				X		Hirschkäfer				X	
Heckenwollfalter					X	Eremit	X	X	X	X	X
Eschen-Scheckenfalter				X		Alpenbock				X	

Legende: X = Art kommt aktuell im Bundesland vor; W = Wiederansiedlungsprojekt innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, A = Vorkommen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, BB, BY etc. = Kürzel der Bundesländer, ? = Vorkommen fraglich;

Tabelle A5: Besonders geschützte Farne und Samenpflanzen nach Anhang der FFH-Richtlinie in den Bundesländern mit Netzausbauswerpunkten (Quelle: Schnitter et al. 2006)

Farne und Samenpflanzen											
Artnamen	NI	HE	NW	B W	TH	Artnamen	NI	HE	NW	B W	TH
Einfacher Rautenfarn			X			Sumpf-Gladiole				X	
Kleefarn			A	X		Sand-Silberscharte		X		X	
Prächtiger Dünnfarn	X	X	X	X	X	Liegendes Büchsenkraut				X	
Sumpf-Engelwurz					X	Sumpf-Glanzkraut	X		X	X	
Kriechender Scheiberich	X		X			Schwimmendes Froschkraut	X		X		
Dicke Trespe				X		Bodensee-Vergissmeinnicht				X	
Frauenschuh	X	X	X	X	X	Schierling-Wasserfenchel	X				
Vorblattloses Leinblatt	X					Sommer-Schraubensindel				X	

Legende: X = Art kommt aktuell im Bundesland vor; W = Wiederansiedlungsprojekt innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, A = Vorkommen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Art, BB, BY etc. = Kürzel der Bundesländer, ? = Vorkommen fraglich;

Anhang 4: Landschaftsbildbewertung für Freileitungstrassen nach Nohl, Paul und Weigel

Landschaftsbildanalyse bei mastenartigen Eingriffen nach Nohl

Im Folgenden wird die Langfassung der Kompensationsflächenberechnung beschrieben. Diese bezieht sich auf die Freileitungsmasten auf Höchstspannungsebene. Nohl bietet neben einer Langfassung auch zwei Kurzfassungen an, die sich auf andere Typen der mastenartigen Eingriffsform beziehen (z.B. Windenergieanlagen, Funkmasten geringerer Höhe).

1. Schritt: Wirkzonen

Im ersten Schritt werden zunächst drei trassenparallele, visuelle Wirkzonen unterschiedlichen Abstands zum Eingriff gebildet, um das potentiell beeinträchtigte Gebiet festzulegen. Wirkzone I mit einem Abstand von 200 m, Wirkzone II mit einem Abstand von 1500 m Entfernung und Wirkzone III mit einem Abstand von 10000 m zum Eingriffsobjekt (kann bei relativ homogener ästhetischer Ausstattung der Wirkzone auch auf 5000 m reduziert werden). Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Wirkung der Freileitungstrasse mit zunehmender Entfernung exponential abnimmt.

2. Schritt: tatsächlich beeinträchtigte Flächen

Im zweiten Schritt wird das durch die Freileitungstrasse tatsächlich beeinträchtigte Gebiet festgelegt, indem die Flächen hervorgehoben werden, von denen man den Eingriff nicht wahrnehmen kann (z.B. da sich dort eine Senke befindet oder es durch einen Wald verdeckt wird).

3. Schritt: Landschaftsbildeinheiten

Die tatsächlich beeinträchtigten Gebiete werden anschließend in landschaftsästhetische Raumeinheiten, auch Landschaftsbildeinheiten genannt, gegliedert um sie einzeln bewerten zu können. Diese Landschaftsbildeinheiten sind Gebiete oder Flächen, die sich in ihrem Erscheinungsbild vom Umfeld unterscheiden. Gebildet werden diese anhand der Informationen aus u.a. Biotoptypenkartierung, Luftbildern, topographischen Karten und visuellen Eindrücken bei Geländebegehungen.

4. Schritt: ästhetischer Eigenwert vor dem Eingriff

Dieser Schritt besteht darin, die ermittelten Landschaftsbildeinheiten vor dem Eingriff einzeln zu gewichten. Es wird der ästhetischer Eigenwert für diese Raumeinheiten ermittelt, der sich als Wert in einer Stufenskala (z.B. 10er Skala) widerspiegelt. Der Wert ist umso höher, je größer die Werte der Vielfalt, Naturnähe und Eigenarterhalt der Landschaft sind. Ein landschaftlicher Raum ist in ästhetischer Hinsicht umso vielfältiger, je mehr (visuell) deutlich unterscheidbare Elemente er enthält (z.B. Oberflächenformen, Vegetationsstrukturen, Gewässerformen, etc.). Die Naturnähe ist abhängig von der Sichtbarkeit des menschlichen Einflusses und einer erkennbaren Ei-

genentwicklung. Der Eigenartserhalt als dritter Einflussfaktor des ästhetischen Eigenwerts bemisst sich aus der Veränderung des Landschaftscharakters in einem Zeitraum von ca. 50 Jahren (z.B. wenn typische Elemente wie eine historische Strasse zerstört oder untypische Elemente wie eine Autobahn eingefügt werden). Sind die (Teil-)Werte der drei o.g. Parameter durch Einschätzung eines Experten ermittelt, werden Sie zu einem Gesamtwert aufsummiert und in Stufen eingeordnet. Wird eine besonders hohe Stufe erreicht, also besitzt die ästhetische Raumeinheit einen hohen Eigenwert, ist diese als Tabufläche anzusehen.

5. Schritt: ästhetischer Eigenwert nach dem Eingriff

Im fünften Schritt erfolgt die Schätzung der ästhetischen Eigenwerte in den landschaftsästhetischen Raumeinheiten nach Eingriff. Hier wird unter Einbeziehung der gleichen Skala der ästhetische Eigenwert wie im vorherigen Schritt beschrieben vorausschauend ermittelt. Ggf. wird hierfür eine Fotomontage des Landschaftsbildes mit dem Eingriff erstellt.

6. Schritt: Eingriffsintensität

Im sechsten Schritt wird die Eingriffsintensität der einzelnen Räume ermittelt. Dazu wird die Differenz der ästhetischen Eigenwerte vor und nach dem geplanten Eingriff gebildet. Dies drückt die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch die Trasse in dem betrachteten Teilraum aus.

7. Schritt: visuelle Verletzlichkeit der ästhetischen Raumeinheiten

Der siebte Schritt besteht darin, die visuelle Verletzlichkeit in den ästhetischen Raumeinheiten zu ermitteln. Da Landschaften je nach ihrer Beschaffenheit einen Eingriff unterschiedlich gut „verkräften“ und somit die Beeinträchtigung des gleichen Eingriffs in verschiedenen Landschaftsräumen unterschiedlich stark ist, wird hier versucht, den Landschaftsbildeinheiten einen Wert zuzuweisen. Dies geschieht analog zu der oben beschriebenen Ermittlung des ästhetischen Eigenwertes, nur dass die Parameter, die zu diesem Wert führen, die Reliefierung des Geländes, die Vielfalt der Elemente und die Vegetationsdichte sind. Generell ist die visuelle Verletzlichkeit umso höher, desto offener und transparenter die Landschaft ist. Wenn das Gelände eine hohe Reliefenergie besitzt, also eher hügelig als flach ist, wird ein hohes Objekt, da es weniger stark über den Horizont ragt, als weniger störend angesehen. Besitzt eine Raumeinheit wenige Landschaftselemente, sticht das Eingriffsobjekt eher ins Auge und der Eingriff wiegt schwerer. Und umso höher die Vegetationsdichte in einem Gebiet ist, desto schöner wird es empfunden, weshalb die visuelle Verletzlichkeit zunimmt.

8. Schritt: Schutzwürdigkeit der ästhetischen Raumeinheit

Im achten Schritt wird festgestellt, wie schutzwürdig die einzelnen Raumeinheiten sind. Wenn man beurteilen will, wie schwerwiegend ein Eingriff ist, ist dies abhängig von der Nutzung der beeinträchtigten Fläche. Auf einer Naturschutz-, oder Erholungsfläche ist die Beeinträchtigung naturgemäß größer als auf einer Siedlungs-, oder Verkehrsfläche. Deshalb wird in diesem Schritt mittels Skalenwert (gleiche Einheit wie vorher) die Schutzwürdigkeit festgestellt. Ähnlich wie bei den ästhetischen Ei-

genwerten sollte auch hier bei Schutzwerten von 9 und 10 (bei einer gewählten Skalengröße von 1-10) die ästhetische Raumeinheit als Tabufläche angesehen werden.

9. Schritt: Empfindlichkeit der ästhetischen Raumeinheit

Bei der Festlegung der Empfindlichkeit der Landschaftsbildeinheiten werden im neunten Schritt die bisher ermittelten Werte zusammen gerechnet und erneut in eine Skala von Eins bis Zehn geordnet. Die landschaftsästhetischen Raumeinheiten sind nämlich gegenüber Eingriffen umso empfindlicher, je größer ihr ästhetischer Eigenwert, ihre visuelle Verletzlichkeit und der Grad ihrer Schutzwürdigkeit ist (S.50).

10. Schritt: Eingriffserheblichkeit

Die Eingriffserheblichkeit, die im zehnten Schritt ermittelt wird, setzt sich aus der Eingriffsintensität und der Empfindlichkeit des Raumes zusammen, die in Schritt sechs und neun beschrieben wurden. Ein Eingriff ist in seinen Auswirkungen auf das Landschaftsbild umso erheblicher, je schwerer der Eingriff, gemessen über die Eingriffsintensität, und zugleich je größer die Empfindlichkeit der ästhetischen Raumeinheit gegenüber Eingriffen ist. Nohl beschreibt die Eingriffserheblichkeit auch als die Summe der ästhetischen Verluste durch den Eingriff und kommt in diesem Schritt zu einem abschließenden Zahlenwert, in dem er sich ein letztes Mal dem Schema der Stufenskala bedient. Je nachdem ob die Stufe hoch oder niedrig ist, ist der Eingriff mehr oder weniger erheblich.

11. Schritt: Erheblich beeinträchtigte Fläche

Wenn man die Erheblichkeit des Eingriffs quantifiziert hat, kann man daraus die erheblich beeinträchtigten Flächen der Raumeinheiten ermitteln. Hierzu schlägt Nohl im elften Schritt vor, dass man den ermittelten Stufenwert für die Eingriffserheblichkeit auch als prozentualen Flächenwert interpretieren kann. Wenn also auf einer 10er-Skala eine Erheblichkeitsstufe von 7 ermittelt wurde, dann sind 70 % der Fläche dieser Raumeinheit in ihrer Ästhetik erheblich beeinträchtigt. Oder um es als Faktor in der mathematischen Abschlussformel zur Kompensationsflächenberechnung zu verwenden, läge in diesem Fall ein Erheblichkeitsfaktor in Höhe von 0,7 vor.

12. Schritt: Kompensationsflächenfaktor

Um den Umfang der Kompensationsfläche der erheblich beeinträchtigten Fläche festzulegen, hat Nohl einen Kompensationsflächenfaktor eingeführt. Er schlägt in seiner Methode vor, dass man 5% bis 20% der durch den Eingriff ästhetisch erheblich beeinträchtigten Fläche kompensieren muss, was der Mindestfläche für Naturschutz und Landschaftspflege in einer intakten Kulturlandschaft entspricht. Somit kann in die Kompensationsflächenberechnung ein Kompensationsflächenfaktor von 0,1 (entspricht 10%) einfließen.

13. Schritt: Wahrnehmungskoeffizient

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass ein Eingriffsobjekt als umso weniger störend empfunden wird, desto weiter weg es sich von Betrachter befindet und umso höher die Vorbelastung ist, führt Nohl einen Wahrnehmungskoeffizient ein, der dies in der Berechnung der Kompensationsfläche berücksichtigt. Die Abnehmende Fern-

wirkung wird durch die drei Wirkzonen berücksichtigt, wobei die dritte Wirkzone einen kleineren Koeffizienten als die erste Wirkzone einnimmt. Auch die Höhe des Objektes geht in den Faktor mit ein. Dabei werden mastenartige Eingriffe mit einer Größe von über und unter 60 m unterschieden. Über eine Tabelle wird der geeignete Koeffizient entnommen.

14. Schritt: Berechnung des Gesamtumfangs der Kompensationsfläche

Abschließend fließen nun alle beschriebenen Faktoren in die Formel (1) ein um den Umfang der Kompensationsfläche zu berechnen.

$$\mathbf{K = F \cdot e \cdot b \cdot w} \quad \mathbf{(1)}$$

Umfang der Kompensationsfläche(K) in m²; Flächenumfang (F) in m² der tatsächlichen Einwirkungsbereiche (vgl. 2. Schritt); Erheblichkeitsfaktor (e) der zugehörigen Raumeinheit (vgl. 11. Schritt); Kompensationsflächenfaktor (b) (vgl. 12. Schritt); Wahrnehmungskoeffizient (w) der zugehörigen Wirkzone (vgl. 13. Schritt)

Weiterentwicklung der Nohlschen Landschaftsbildanalyse durch Paul et al.

Zielsetzung: Das Verfahren von Paul et al. beruht auf der zuvor beschriebenen Methode von Nohl sowie einer vorhergehenden computerbasierten Methodik für Freileitungstrassen (Zewe 1993; Zewe u. Groß 1997) mit dem Ziel der Kompensationsflächenermittlung von visuellen Eingriffen durch Hochspannungsfreileitungen. Dazu werden digitale, geographische Daten als Grundlage der Bewertung verwendet und mit Hilfe von mathematischen Formeln so ausgewertet, dass als Ergebnis eine Kompensationsfläche in m² vorliegt. Die Berechnung wird, im Bezug auf Nohl's Verfahren um die Faktoren partielle Sichtverschattung sowie Mehrfachsichtbarkeiten, Be- und Entlastung und die Einzelbetrachtung der Masten erweitert und erfolgt computergestützt.

Darstellung der Arbeitsschritte: Zunächst wird eine landschaftsplanerische Voruntersuchung durchgeführt, mit dem Ziel die Erheblichkeitsfaktoren zu bestimmen, also die Werte, die in der Formel den Unterschied zwischen dem Zustand des Landschaftsbildes vor und nach dem Eingriff ausdrücken. Für die Kompensationsflächenberechnung wird in einem geeigneten GIS-Programm auf Basis topographischer Daten ein Digitales Höhenmodell erstellt, welches die Geländeoberfläche des Untersuchungsraumes abbildet. Auf diesem Höhenmodell werden Rasterzellen modelliert, denen jeweils ein Höhenwert (gemessen von N.N. bis zum Erdboden) zugewiesen wird. Die Einteilung in Rasterzellen dient dazu, den Einfluss (und somit die Kompensationsfläche) jedes einzelnen Masten auf jede Zelle individuell berechnet und später aufsummiert zu können. Bei Rasterzellen, auf denen sich Wald, oder Gebäude befinden, wird der Höhenwert entsprechend der Höhe des vom Boden empor steigenden Objekts angepasst. Die geplanten Masten werden ortsbezogen in die jeweiligen Rasterzellen eingefügt.

Mit Hilfe der GIS-gestützten Berechnung erfolgt nun die Analyse der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes über Winkelbeziehungen für jede einzelne Rasterzelle. Diese Berechnung basiert auf der von Nohl entwickelten Formel, jedoch wird sie um

die partielle Sichtverschattung (iP) erweitert (durch Topographie, Bebauung und Bewuchs). Damit wird berücksichtigt, dass ein Mast, der nur teilweise wahrnehmbar ist, da er z.B. hinter einem Wald steht und nur die Spitze zu sehen ist, auf das Landschaftsbild eine geringere Beeinträchtigung ausübt, als ein vollständig wahrnehmbarer Leitungsmast. Paul et al. berücksichtigen zudem auch die Mehrfach-sichtbarkeit von Masten einer geplanten Trasse je Rasterfeld. So sind in der Regel von einem Standpunkt aus mehrere Masten sichtbar, jedoch nimmt die Beeinträchtigung nicht linear mit jedem Masten zu. Deshalb werden die Masten vom Computer nach der Höhe der zuvor berechneten Kompensationsfläche sortiert. Die für den ersten Mast berechnete Fläche geht vollständig in die Berechnung ein, der zweite Mast wird, für die Rasterzelle, nur noch zur Hälfte gewertet, der dritte mit einem Drittel usw. (Identifikationsfaktor Mehrfach-sichtbarkeiten iM).

Des Weiteren überarbeiteten Paul et al. den Faktor Vorbelastung und erweiterten ihn um die Be- und Entlastung, da die Stärke der Beeinträchtigung auf das Landschaftsbild davon abhängig ist, ob eine bereits bestehende Freileitung ersetzt wird (Entlastung) oder ob bestehende größere oder kleinere Masten existieren.

Weiterentwicklung der Nohlschen Landschaftsbildanalyse durch Weigel

Mit der Software „Visibility Analyst“ hat Weigel den computergestützten Ansatz von Paul et al. übernommen und versucht, die Berechnung der zu schaffenden Kompensationsflächen präziser und realitätsnäher zu gestalten. Dazu übernimmt er grundsätzlich den Methodenansatz von Paul, aber ändert den Wahrnehmungskoeffizient in Hinsicht auf die Masthöhe und den Betrachterabstand (s.u.). Des Weiteren lässt sich die Software aber auch dafür nutzen, einen Variantenvergleich einer geplanten Trasse durchzuführen. Auch vor der Trassenfestlegung kann „Visibility Analyst“ als Entscheidungshilfe für den Trassenverlauf, durch eine Einsehbarkeitsanalyse von Großräumen und durch Optimierung der Positionen einzelner Masten genutzt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte: Weigel grenzt den Untersuchungsraum bei der 15-fachen Masthöhe ab, da dies in Niedersachsen als erheblich beeinträchtigter Bereich gilt. Die Berechnung der Kompensationsfläche erfolgt ähnlich dem Verfahren von Paul, wonach zuerst die relevanten Eingangsdaten wie Topografische Karten, Strukturhöheninformationen, Masthöhen und Informationen zum Masttypen etc. in die GIS-gestützte Software über ein automatisiertes Verfahren eingegeben werden. Es wird für jede Rasterzelle eine Sichtbarkeitsanalyse des Eingriffs durchgeführt, in der die Eindrucksstärke eines Eingriffsobjekte in Abhängigkeit der Entfernung des Betrachters (Wahrnehmungskoeffizient) und der Identifikationsfaktor Sichtbarkeit einfließen. Der Kompensationsfaktor (siehe Nohl, Schritt 12) und der Erheblichkeitsfaktor (Nohl, Schritt 11) werden, anders als bei Nohl und Paul et al. erst nach der Sichtbarkeitsanalyse mit dessen „flächenhaften Ergebnissen“ (Weigel, 2007, S.1) verrechnet. Dabei ist es nicht ersichtlich, ob mit den flächenhaften Ergebnissen die der einzelnen Landschaftsbildeinheiten (falls diese gebildet werden) oder die der Gesamtfläche gemeint sind. Das ist wiederum entscheidend für die Höhe der Kompensationsfläche und dessen Genauigkeit, da bei einer Multiplikation des Gesamtwertes der

Sichtbarkeitsanalyse mit einem Erheblichkeitsfaktor für den Gesamtuntersuchungsraum die Erheblichkeit des Eingriffs „verharmlost“ wird. Es wird im Folgenden jedoch davon ausgegangen, dass in einer Voruntersuchung Landschaftsbildeinheiten analog zu Nohl gebildet und bewertet werden, daraus unterschiedliche Erheblichkeitsfaktoren bestimmt und mit den Ergebnissen der Sichtbarkeitsanalyse für diese Raumeinheiten verrechnet werden. Die Trennung der Kompensations- und Erheblichkeitsfaktoren von der Sichtbarkeitsanalyse begründet Weigel jedoch nachvollziehbar damit, dass die Ergebnisse der Sichtbarkeitsanalyse ggf. mit verschiedenen Einschätzungen des ästhetischen Wertes der Landschaft verschnitten werden können. Bei Paul et al. gehen die Erheblichkeitsfaktoren direkt in die Berechnung der Kompensationsfläche jeder einzelnen Rasterzelle ein.

Eine weitere Modifikation an dem Verfahren von Paul et al. wurde am Wahrnehmungskoeffizient durchgeführt. Wurde bei Nohl und Paul bei der Masthöhe nur zwischen Eingriffen größer und kleiner als 60 m unterschieden, wird bei Weigel mit der tatsächlichen Masthöhe gerechnet. Des Weiteren wurde die Einbeziehung des Betrachterabstandes, bei Nohl und Paul über die Abgrenzung der drei visuellen Wirkzonen, geändert. Sie erfolgt bei Weigel über eine logarithmische Funktion (2), die sich den „Treppenstufen“ (siehe Abb. 2) annähert und dabei keine sprungartigen Veränderungen des Koeffizienten ermöglicht (z.B. bei zwei Abständen zum Eingriff in 1499m und 1500m von 0,15 auf 0,08).

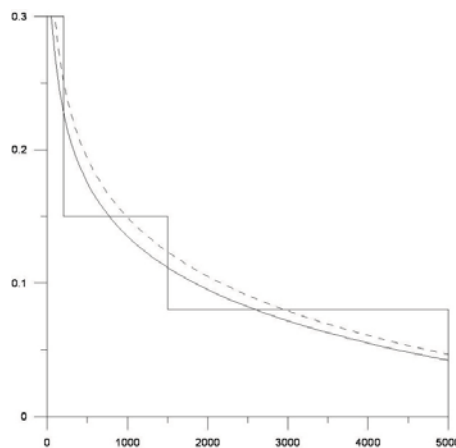


Abb. 2: Eingriffsstärke in Abhängigkeit der Betrachterentfernung: Die gestrichelte Linie stellt die beste Näherung einer Funktion zu den Treppenstufen da, die durchgezogene Linie ist die von Weigel verwendete Funktion (2). Auf der Ordinate ist die Eingriffsstärke als Koeffizient und auf der Abszisse die Betrachterentfernung in Metern angegeben

$$w_i = \frac{-0,0638 \cdot \ln x + 0,59}{1,105} \quad (2)$$



