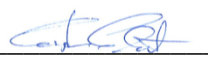



Immissionsbericht

380-kV-Leitung Kreis Segeberg - Raum Lübeck
 (LH-13-328)

Aufgestellt: Bayreuth, den 20.03.2020   i.V. C. Schmidt i.A. T. Klages	<h2>Materialband 04: Immissionsbericht</h2>																																				
Der hier vorliegende Immissionsbericht dient dem Nachweis zur Einhaltung der Anforderungen der 26. Bundesimmissionsschutzverordnung der geplanten 380-kV-Leitung Kreis Segeberg – Raum Lübeck, LH-13-328																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Prüfvermerk</th> <th style="width: 20%;">Ersteller</th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Datum</td> <td>20.03.2020</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unterschrift</td> <td>Dr. H. Othmer</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Änderung(en):</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Datum</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unterschrift</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Prüfvermerk	Ersteller					Datum	20.03.2020					Unterschrift	Dr. H. Othmer					Änderung(en):						Datum						Unterschrift					
Prüfvermerk	Ersteller																																				
Datum	20.03.2020																																				
Unterschrift	Dr. H. Othmer																																				
Änderung(en):																																					
Datum																																					
Unterschrift																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Änderung(en):</th> </tr> <tr> <th style="width: 30%;">Rev.-Nr.</th> <th style="width: 20%;">Datum</th> <th style="width: 50%;">Erläuterung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Änderung(en):			Rev.-Nr.	Datum	Erläuterung																														
Änderung(en):																																					
Rev.-Nr.	Datum	Erläuterung																																			

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES.....	5
1.1	Vorhabenträgerin	5
1.2	Beschreibung der zu untersuchenden Leitungsführungen (Freileitung).....	5
1.3	Beschreibung der Kabelabschnitte Henstedt-Ulzburg und Kisdorferwohld	6
1.4	Minimierungsgebot nach 26. BImSchVVwV	7
2	AUFGABENSTELLUNG.....	11
2.1	Ermittlung der Immissionswerte für die 380-kV-Leitung	11
2.2	Ermittlung der Immissionswerte für Provisorien	11
3	GRENZ- UND RICHTWERTE DER IMMISSIONEN.....	13
3.1	Allgemein.....	13
3.2	Elektrische und magnetische Felder	13
3.3	Koronageräusche	15
4	ERMITTLUNG DER IMMISSIONSWERTE	16
4.1	Allgemein.....	16
4.2	Berechnungsparameter	16
4.3	Berechnungsergebnisse der zu erwartenden Immissionen für die Freileitungstrasse.....	17
4.4	Berechnungen der magnetischen Flussdichte der Kabelabschnitte Henstedt-Ulzburg und Kisdorferwohld im Bereich des Regelgrabenprofils	18
4.5	Magnetische Flussdichten an ausgewählten Punkten mit Bebauung	19
5	GLEICHZEITIGE IMMISSIONEN VON ELEKTROMAGNETISCHEN FELDERN IM FREQUENZBEREICH ZWISCHEN 1 HZ UND 10 MHZ	21
6	WÄRMEIMMISSIONEN IN DEN ERDKABELABSCHNITTEN.....	22
7	ZUSAMMENFASSUNG	23
8	LITERATUR	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnungsparameter zur Ermittlung der Immissionen für die Freileitung	16
Tabelle 2: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen unterhalb der Leitungssachse der Freileitung	17
Tabelle 3: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen des Erdkabelabschnitts UW Kreis Segeberg – KÜA Henstedt-Ulzburg/Ost.....	20
Tabelle 4: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen des Erdkabelabschnitts KÜA Kisdorferwohld/West – KÜA Kisdorferwohld/Ost.....	20
Tabelle 5: Ausgangsparameter zur Berechnung der Wärmeimmissionen	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Berechnete magnetische Flussdichte für eine Strombelastung von 4000 A pro Stromkreis bei einer Legetiefe von 1,5 m der 380-kV-Erdkabel.....	19
--	----

Anhänge

- Anhang 1:** Berechnungsergebnisse der elektrischen und magnetischen Felder und Schallpegel für relevante Immissionsorte (Tabelle)
- Anhang 2.1:** Musterberechnung 380-kV-Leitung Mast 901 – 902
- Anhang 2.2:** Berechnungsergebnisse für 380-kV-Leitung Mast 29 – 30 ; Sether Straße 9 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 2.3:** Berechnungsergebnisse für 380-kV-Leitung Mast 29 – 30; Sether Straße 11 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 3.1:** Musterberechnung 380/110-kV-Leitung Mast 3 – 4
- Anhang 3.2:** Berechnungsergebnisse für 380/110-kV-Leitung Mast 3 – 4 ; Achterkoppel 1 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 4.1:** Berechnungsergebnisse für 220-kV-Provisorium 1 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 4.2:** Berechnungsergebnisse für 220-kV-Provisorium 2 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 5:** Berechnungsergebnisse für 110-kV-Provisorium (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 6:** Berechnungsergebnisse der magnetischen Flussdichte an relevanten Immissionssorten der Erdkabeltrasse (Tabelle)
- Anhang 7.1:** Berechnungsergebnisse zur 380-kV-Erdkabelleitung UW Kreis Segeberg – KÜA Henstedt-Ulzburg/Ost 1 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)
- Anhang 7.2:** Berechnungsergebnisse zur 380-kV-Erdkabelleitung UW Kreis Segeberg - KÜA Henstedt-Ulzburg/Ost 2 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BImSchV)

- Anhang 8.1:** Berechnungsergebnisse zur 380-kV-Erdkabelleitung KÜA Kisdorferwohld/West – KÜA Kisdorferwohld/Ost 1 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BIm-SchV)
- Anhang 8.2:** Berechnungsergebnisse zur 380-kV-Erdkabelleitung KÜA Kisdorferwohld/West - KÜA Kisdorferwohld/Ost 2 (Anzeige für Niederfrequenzanlagen gem. 26. BIm-SchV)
- Anhang 9:** Musterberechnung 380-kV-Leitung Mast 55 – 56

1 Allgemeines

1.1 Vorhabenträgerin

TenneT TSO GmbH ist der erste grenzüberschreitende Übertragungsnetzbetreiber für Strom in Europa mit Sitz in Bayreuth. TenneT TSO GmbH ist einer der vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Gemäß § 12 Abs. 3 des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) hat die TenneT TSO GmbH als Betreiber eines Übertragungsnetzes dauerhaft die Fähigkeit des Netzes sicherzustellen, die Nachfrage nach Übertragung von Elektrizität zu befriedigen und insbesondere durch entsprechende Übertragungskapazität und Zuverlässigkeit des Netzes zur Versorgungssicherheit beizutragen. Gemäß § 11 Abs. 1 EnWG sind Betreiber von Energieversorgungsnetzen verpflichtet, ein sicheres, zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz diskriminierungsfrei zu betreiben, zu warten und bedarfsgerecht zu optimieren, zu verstärken und auszubauen, soweit es wirtschaftlich zumutbar ist.

Die Aufgaben der TenneT TSO GmbH umfassen somit den Betrieb, die Instandhaltung und die weitere Entwicklung des Stromübertragungsnetzes der Spannungsebenen 220 kV und 380 kV in großen Teilen Deutschlands.

1.2 Beschreibung der zu untersuchenden Leitungsführungen (Freileitung)

Das hier zur Planfeststellung beantragte Projekt „Kreis Segeberg – Raum Lübeck“ ist als Einzelmaßnahme „Kreis Segeberg – Lübeck“ des Vorhabens Nr. 42 (Höchstspannungsleitung Kreis Segeberg – Lübeck – Siems – Göhl; Drehstrom Nennspannung 380 kV) im Anhang zum Bundesbedarfsplangesetz (BBPlG) aufgeführt.

Das Vorhaben umfasst die Errichtung und den Betrieb einer neuen 380-kV-Höchstspannungsleitung Nr. LH-13-328 zwischen dem neu zu errichtenden 380-kV-Umspannwerk (UW) Kreis Segeberg auf dem Gebiet der Gemeinde Henstedt-Ulzburg und dem neu zu errichtenden 380-kV-UW Raum Lübeck auf dem Gebiet der Gemeinde Stockelsdorf. TenneT TSO GmbH plant die Leitung abschnittsweise sowohl als Freileitung als auch als Erdkabel.

Weiterer Gegenstand des Vorhabens ist der Ersatz einer bestehenden Leitungsmitführung der 110-kV-Leitung LH-13-147 der Schleswig-Holstein Netz AG¹. Die 110-kV-Leitung wird bereits heute auf einem 220-/110-kV-Mischgestänge mitgeführt, welches für die Masten 1 bis 8 durch ein 380-/110-kV-Mischgestänge ersetzt wird. Ferner ist die bestehende 110-kV-Leitung an das neu zu errichtende Mischgestänge heranzuführen (sog. Ansprung) bzw. wieder an das bestehende 110-kV-Netz abzugeben (sog. Absprung).

Die Gesamtleitungslänge der geplanten 380-kV-Leitung im Abschnitt Kreis Segeberg – Raum Lübeck (LH-13-328) beträgt ca. 50,9 km. Die 380-kV-Leitung beginnt beim geplanten UW Kreis

¹ Zum 01. 07. 2014 ist das Eigentum an dem Netz der E. ON Netz GmbH (ENE) auf die Schleswig-Holstein Netz AG (SHNG) übergegangen.

Segeberg und verläuft überwiegend parallel zu der Trasse der bestehenden 220-kV-Leitung in Richtung Nordosten bis auf das Gebiet der Gemeinde Stockelsdorf zum geplanten UW Raum Lübeck.

Die Immissionsberechnungen erfolgen vorrangig für das Donau-Mastbild, das überwiegend zum Einsatz kommt. Lediglich bei den Masten 50 bis 57 soll ein Einebenen-Masttyp verwendet werden. Beim Einebenen-Mastbild reichen die elektromagnetischen Felder der Leitung einige Meter weiter über die Trassenachse hinaus als beim Donau-Mastbild. Die Einebenenmasten befinden sich aber lediglich im Bereich des Travetales in größerer Entfernung zu Siedlungsbereichen (ca. 470 m). Mit Auswirkungen auf die Immissionsbelastung ist hier durch die Änderung des Masttyps nicht zu rechnen. Immissionsberechnungen wurden für dieses Mastbild aber zum Vergleich durchgeführt.

1.3 Beschreibung der Kabelabschnitte Henstedt-Ulzburg und Kisdorferwohld

Der als Kabelabschnitt Henstedt-Ulzburg geplante Teil der 380-kV-Leitung Kreis Segeberg – Raum Lübeck, LH-13-328, verläuft vom Umspannwerk (UW) Kreis Segeberg (Trassen-km 0+000) bis zur Kabelübergangsanlage (KÜA) Henstedt-Ulzburg/Ost (HUO) (Trassen-km 4+402). Dieser Abschnitt hat eine Länge von 4,402 km. Der Kabelabschnitt Kisdorferwohld liegt zwischen der KÜA Kisdorferwohld/West (KIW) und der KÜA Kisdorferwohld/Ost (KIO) und hat eine Länge von 3,043 km (Trassen-km 0+000 bis 3+043).

Beide Kabelabschnitte werden mit 2 Systemen mit je 2 mal 3 parallel verlegten Erdkabeln ausgeführt. Die Aufteilung auf jeweils zwei parallelgeschaltete Teilsysteme ist aus Gründen der Stromtragfähigkeit erforderlich. Im Trassenquerschnitt existieren somit 12 Einzelkabel, die in ebener Anordnung geführt werden sollen. Die Kabel werden einzeln in vorab installierte Kabelschutzrohre aus Kunststoff eingezogen. Auf dem überwiegenden Teil des Abschnittes Henstedt-Ulzburg (ca. 86,5 % der Gesamtlänge) soll die Kabelanlage in offener Bauweise gemäß dem sogenannten Regelprofil errichtet werden. Im Kabelabschnitt Kisdorferwohld werden 98,6 % der Trasse offen angelegt. Nur bei Bedarf kann auf kurzen Teilstücken von diesem Regelprofil abgewichen werden, z.B. bei notwendigen Querungen von Straßen, Gewässern oder anderen im Boden bereits existierenden Installationen.

Der gegenseitige horizontale Abstand der einzelnen Kabel innerhalb eines Teilsystems beträgt im Regelprofil 0,60 m. Die beiden zu einem Stromkreis gehörenden parallelgeschalteten Teilsysteme befinden sich in einem horizontalen Abstand von 1,9 m zueinander, der Abstand zwischen den jeweils innen liegenden Teilsystemen beider Stromkreise beträgt 11,3 m (jeweils gemessen vom Schwerpunkt der Teilsysteme). Die Legetiefe (bezogen auf die Achse der Kabelschutzrohre) beträgt 1,6 m.

Bei elektrisch parallelgeschalteten Kabelsystemen wird die Stromaufteilung von den gegenseitigen induktiven Kopplungen der einzelnen Phasen bestimmt. Die Aufteilung ist daher in der Regel nicht gleichmäßig. Allgemein üblich ist dabei die alternierende Phasenfolge (L1-L2-L3, L3-L2-L1, L1-L2-L3, L3-L2-L1), die zu den geringsten Abweichungen von der idealen gleichmäßigen

Stromaufteilung führt. Für die insgesamt vier Teilsysteme der hier beschriebenen Kabelabschnitte wurde abweichend davon jedoch eine gleichbleibende Phasenfolge gewählt (L1-L2-L3, L1-L2-L3, L1-L2-L3, L1-L2-L3). Dies führt zwar zu einer deutlich ungleichmäßigeren Stromaufteilung (und damit zu einer geringeren Strombelastbarkeit), jedoch haben Voruntersuchungen gezeigt, dass die von der Kabelanlage im Betrieb erzeugten magnetischen Felder in diesem Fall deutlich kleiner sind als bei einer alternierenden Phasenfolge.

Die Kabelanlage hat im Regel- bzw. Normalbetrieb mit 2.520 A pro Stromkreis eine Auslastung von 50%. Der Tageslastgang wird in drei konstante Lastzeiträume von je 8 Stunden aufgeteilt (8 Std. 1.890 A, 8 Std. 2.520 A, 8 Std. 3.150 A). Für den Fall, dass eines der Systeme ausfällt ((n-1)-Fall) muss die Anlage so ausgelegt sein, dass kurzzeitig, d.h. mindestens für 24 Stunden eine Stromstärke von 4.000 A bewältigt werden kann. Diese Situation geht als „worst case-Fall“ in die Immissionsbewertung ein und stellt die höchstmögliche Immissionsbelastung (allerdings nur kurzzeitig) dar.

1.4 Minimierungsgebot nach 26. BImSchVVwV

Gem. § 4 Abs. 1 der 26. BImSchV sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Konkretisiert werden diese Anforderungen durch die 26. BImSchVVwV – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV vom 26. Februar 2016, die für Planfeststellungs- und Plangenehmigungsverfahren gilt, die ab dem 4. März 2016 beantragt wurden.

Sofern alle Bewertungsabstände nach Nr. 3.2.2. (20 m bei der Drehstromfreileitung ab ruhendem äußeren Leiter und 10 m beim Drehstromerdkabel) der 26. BImSchVVwV überschritten werden, erfolgt eine Prüfung nur an den Bezugspunkten. Sollten die Bewertungsabstände unterschritten werden, erfolgt eine separate Prüfung für den jeweiligen Immissionsort (in diesem Fall beim Drehstromerdkabel, siehe Anhang 7.1 zum Immissionsbericht). Gemäß Nr. 2.4 der 26. BImSchVVwV ist der Bezugspunkt ein Punkt, der für maßgebliche Minimierungsorte, die außerhalb des Bewertungsabstandes liegen, ermittelt wird. Er liegt im Bewertungsabstand auf der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen maßgeblichen Minimierungsort und der jeweiligen Anlagenmitte/Trassenachse. Der Bezugspunkt ist so gewählt, dass durch eine auf diesen Punkt bezogene Minimierung, die Feldstärken in größeren Abständen ebenfalls minimiert werden. Gemäß Nr. 3.2.2.3 der 26. BImSchVVwV ist für die jeweilige Anlage bezogen auf die festgelegten Bezugspunkte und maßgeblichen Minimierungsorte das Minimierungspotential zu prüfen. Diese Prüfung erfolgt auf Basis der in Nummer 5 der 26. BImSchVVwV aufgeführten technischen Möglichkeiten zur Minimierung.

Die technischen Möglichkeiten zur Minimierung sind für Energieübertragungsanlagen mit 50 Hertz unter der Nr. 5.3 der 26. BImSchVVwV aufgeführt. Zunächst werden im Allgemeinen die

Möglichkeiten für Drehstromfreileitungen (Nr. 5.3.1), welche überwiegend beim hier geplanten Leitungsabschnitt eingesetzt werden, erläutert. Die technischen Möglichkeiten zur Minimierung umfassen folgende Punkte:

- **Abstandsoptimierung (Nr. 5.3.1.1):** Das Ziel besteht darin, die Distanz zwischen den Leiterseilen und der maßgeblichen Minimierungsorte zu vergrößern. Bei der hier geplanten Leitung beträgt der geringste Bodenabstand in Bereichen der alleinigen 380-kV-Leitungsführung 12,3 m und liegt somit ca. 4,5 m über dem nach DIN EN 50341-1 mindestens geforderten Normwert von 7,8 m. In Bereichen von 110-kV-Leitungsmitteln beträgt der geringste Bodenabstand 12,9 m. Damit liegt der Bodenabstand ca. 4,90 m über dem in der Norm geforderten Wert.
- **Elektrische Schirmung (Nr. 5.3.1.2):** Für die elektrische Schirmung ist eine zusätzliche Traverse notwendig und die Maßnahme ist nur wirksam, wenn dieses Erdseil unterhalb oder seitlich der Leitungssysteme angebracht sind. Dies hat zur Folge, dass höhere Maste eingesetzt werden müssen, die sich nachteilig auf das Landschaftsbild und den Vogelschutz (höheres Anflugrisiko) auswirken können. Die Maßnahme hat ausschließlich Auswirkungen auf das elektrische Feld, welches im Gegensatz zum magnetischen Feld auch von anderen, vorhandenen Objekten in der Landschaft und auch von Hauswänden gut abgeschirmt wird. Im Hinblick auf das geringe Minimierungspotential und dem gegenüberstehenden Aufwand und der umweltfachlichen Nachteile wird auf diese Minimierungsmaßnahme verzichtet.
- **Minimieren der Seilabstände (Nr. 5.3.1.3):** Eine Minimierung der Seilabstände erfolgt bereits bei der Konstruktion der Mastgestänge, welche in diesem Leitungsabschnitt eingesetzt werden. Zusätzlich werden die Isolatoren der Tragmaste als V-Ketten ausgeführt, was zu geringeren Ausschwingweiten und damit zu geringeren Seilabständen führt. Hierbei muss allerdings immer auch der minimal zulässige Leiterseilabstand zwischen den einzelnen Phasen sowie zu geerdeten Anlagenbauteilen berücksichtigt werden. Weiterhin spielen auch betriebliche Anforderungen (z. B. Besteigbarkeit und Zugänglichkeit von Anlagenteilen während des Betriebes) eine Rolle und entsprechende Mindestabstände müssen gewährleistet sein.
- **Optimieren der Mastkopfgeometrie (Nr. 5.3.1.4):** Grundsätzlich bildet das Donaumastbild das Optimum aus Leitungshöhe und Trassenbreite im Vergleich zu anderen Mastbildern und ist daher zu bevorzugen. Bei der geplanten Leitung kommt in den Bereichen der alleinigen Leitungsführung überwiegend das Donaumastgestänge zum Einsatz. Bei der Querung des Travetals findet allerdings aus naturschutzfachlichen Gründen das Einebenenmastgestänge Anwendung (Mast 50 bis 57). In den Bereichen einer Leitungsmitteln wird eine Kombination aus Donau- und Einebenenmastgestänge verwendet. Die 26. BImSchVV bevorzugt zwar eine vertikale Anordnung (z. B. beim Tonnenmast) der Außenleiterseile, dieses Mastkopfbild ist aber aus Gründen technischer, wirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Randbedingungen nur im Ausnahmefall realisierbar.

- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.1.5): Eine allgemeingültige, optimale Leiteranordnung zur Optimierung der elektrischen und magnetischen Felder gibt es nicht, denn abhängig vom Beurteilungsort kann sich die optimale Leiteranordnung unterscheiden. Die Leiter für jeden einzelnen Immissionsort optimal anzuordnen, ist somit allein aus technischen Gründen nicht möglich. Im Allgemeinen werden die Leiteranordnungen in einem Netz so koordiniert und festgelegt, dass sich für dieses Netzgebilde geringstmögliche Unterschiede zwischen den Spannungen des Drehstromsystems ergeben. Insofern hat die Vorhabenträgerin für ein Neubauprojekt nur geringe Freiheitsgrade, die Leiteranordnung in einem Leitungsabschnitt ausschließlich mit dem Ziel der Felddoptimierung zu wählen. Eine Optimierung der Leiteranordnung der Neubauleitung kann unter Umständen zur Folge haben, dass es im gesamten Netz zu Anpassungen der Leiteranordnungen kommen kann. Umfangreiche Umbaumaßnahmen auf anderen Leitungen und in Umspannwerken könnte die Folge sein. Für dieses Projekt wurden die netztechnisch notwendigen Leiteranordnungen vorausgesetzt.

Im Kap. 5.3.2 der 26. BImSchVVwV werden die technischen Möglichkeiten für Drehstromerkabel genauer beschrieben und nachfolgend näher erläutert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das elektrische Feld aufgrund der Bauart der verwendeten Kabel sowie durch das umgebende Erdreich vollständig abgeschirmt wird.

- Minimierung der Kabelabstände (Nr. 5.3.2.1): Unter Berücksichtigung der thermischen Belastbarkeit der Kabel und der Abmessungen der Schutzrohre, werden die Abstände der einzelnen Kabel eines Systems sowie die einzelnen Kabelsysteme untereinander auf ein Mindestmaß reduziert.
- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.2.2): Die Anschlussreihenfolge der Phasen wird so ausgeführt, dass die von den Kabelsystemen ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensiert werden, sofern dies technisch möglich ist.
- Optimieren der Verlegegeometrie (Nr. 5.3.2.3): Die geplanten Kabelabschnitte werden in horizontaler Ebene verlegt. Aus Gründen der thermischen Belastbarkeit sowie aufgrund der großen Kabelquerschnitte und der Verlegung in Schutzrohren ist eine Verdrillung oder die Anordnung im Dreieck nicht möglich.
- Optimieren der Verlegetiefe (Nr. 5.3.2.4): Die Grenzwerte der 26. BImSchV für die magnetische Flussdichte werden bereits ab einer Verlegetiefe von 1,50 m bei höchster Kabelauslastung an den maßgeblichen Immissionsorten unterschritten. Eine weitere Vergrößerung der Verlegetiefe hat für die Minimierung an den maßgeblichen Immissionsorten nur geringes Potential. Die 380-kV-Kabelsysteme der Ostküstenleitung werden bei offener Bauweise grundsätzlich in einer Tiefe von ca. 1,60 m verlegt. Die Grenzwerte werden durch die angesetzte Regelverlegetiefe also sicher eingehalten. Mit Zunahme der Verlegetiefe der Kabeltrasse muss der Abstand der einzelnen Kabel zueinander erhöht werden, um die Wärmeabfuhr nicht zu beeinträchtigen. Dadurch wird allerdings der Bewertungsabstand verringert. Bei

Unterschreitung des Bewertungsabstands nach 3.2.2 erfolgt eine separate Prüfung am jeweiligen Immissionsort.

Bezogen auf die Minimierungsorte bedeutet dies folgendes:

Für die zu betrachtenden Minimierungsorte ist festzuhalten, dass die magnetische Flussdichte in keinem Fall den Grenzwert von 100 μT überschreitet. Weiterhin überschreitet die elektrische Feldstärke in keinem Fall den Grenzwert von 5 kV/m.

Abschließend sollen die genannten Maßnahmen im Hinblick auf ein Minimierungspotenzial an den Bezugspunkten bewertet werden. Da es sich bei der hier vorliegenden geplanten Leitung um ein Neubauprojekt handelt, werden die beschriebenen Minimierungsmaßnahmen bereits bei der Planung berücksichtigt. Dadurch sind unter Berücksichtigung von Auswirkungen auf andere Schutzgüter, agrarstrukturelle Belange und ähnliche relevante Einflussfaktoren die meisten zur Verfügung stehenden Minimierungsmaßnahmen technisch realisierbar und wirtschaftlich vertretbar. Die Erhöhung des Bodenabstandes ist nicht ausschließlich auf die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder zurückzuführen. Hierbei spielen auch die landwirtschaftliche Nutzung und Abstände zu anderen Objekten eine tragende Rolle. Ebenso verhält es sich mit der Minimierung der Leiterseilabstände. Grundsätzlich hat die Vorhabenträgerin unter Berücksichtigung der Statik, der geltenden Normen, der Auswirkung auf andere Schutzgüter und der Betriebsführung die vorhandenen Minimierungspotentiale ausgeschöpft. Weitere, darüberhinausgehende Maßnahmen sind technisch schwierig umsetzbar und wären unter Berücksichtigung des geringen Minimierungspotentials unverhältnismäßig.

2 Aufgabenstellung

2.1 Ermittlung der Immissionswerte für die 380-kV-Leitung

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens „380-kV-Leitung Kreis Segeberg – Raum Lübeck, LH-13-328“ sind die von dem Vorhaben ausgehenden Immissionen darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenz- und Richtwerte zu beurteilen. Hierbei handelt es sich im Einzelnen um:

- elektrische Feldstärken,
- magnetische Flussdichten,
- Koronageräusche (Schallpegel).

Mit Hilfe des zertifizierten Rechenprogramms WinField [1] wurden die zu erwartenden elektrischen Feldstärken, magnetischen Flussdichten und Koronageräusche zu relevanten Immissionsorten im Bereich der 380-kV-Freileitung ermittelt.

Es wurden exemplarisch Berechnungen für Standorte durchgeführt an denen der Abstand zwischen Freileitung und Gebäude bzw. Freifläche, wo nicht nur mit einem vorübergehenden Aufenthalt mit Personen zu rechnen ist, am geringsten ist. In allen anderen Fällen ist der Abstand größer, so dass davon auszugehen ist, dass die Immissionen dort unter den Werten der vorhandenen Berechnungen liegen. Betrachtet wird der zukünftige Betriebszustand (Soll-Zustand). Demnach sind die Werte der elektrischen Feldstärke, der magnetischen Flussdichte und der Koronageräusche an keinem anderen Immissionsort höher. Die beiden Standorte liegen

- unter der geplanten 380-kV-Leitung (2 Systeme 380 kV) zwischen Mast 901 und 902 (Musterberechnung),
- an der geplanten 380/110-kV-Leitung (2 Systeme 380 kV und 2 Systeme 110 kV) zwischen Mast 3 und 4 und
- sowie unterhalb der 380-kV-Leitung (2 Systeme 380 kV) zwischen Mast 55 und 56 (Einebenenmasten).

2.2 Ermittlung der Immissionswerte für Provisorien

Im Verlauf der geplanten Leitung gibt es Bereiche, in denen vorhandene Hochspannungsleitungen gekreuzt werden und daher im Zuge der Baumaßnahmen abzuschalten wären. Da die betroffenen Leitungen während der Bauphase aber aus versorgungstechnischen Gründen grundsätzlich in Betrieb bleiben müssen, sind zusätzliche technische Einrichtungen (Provisorien) zur Aufrechterhaltung des Leitungsbetriebes erforderlich.

Eine mögliche Maßnahme ist die Errichtung von Freileitungsprovisorien. Freileitungsprovisorien werden i. d. R. auf Hilfgestängen errichtet und können Abschnitte einer bestehenden Leitung durch eine provisorische Leitung ersetzen, so dass der im Arbeitsbereich der neuen Leitung befindliche Abschnitt abgeschaltet werden kann. Der Einsatz von Provisorien und provisorischen Versorgungen dient in erster Linie der Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit.

Es handelt sich bei Provisorien um zeitlich begrenzte (temporäre) Einrichtungen. Somit sind auch diese Immissionen zeitlich auf die Bauphase der Freileitung befristet.

In diesem Bericht werden zwei Situationen des temporären Bauzustandes dargestellt, in denen Provisorien zum Einsatz kommen. Dazu gehört

- zwei Spannungsfelder der vorübergehend zu errichtenden 220-kV-Provisorien (nördlich des Spannungsfeldes von Mast 27 zu Mast 28) sowie
- ein Spannungsfeld des vorübergehend zu errichtenden 110-kV-Provisoriums, das zur Aufrechterhaltung der 110-kV-Leitung Hamburg/Nord – Bramstedt (LH-13-147) von Mast 1 (dort Anschluss an ein Baueinsatzkabel) in das Spannungsfeld zwischen Mast 10 und Mast 11 der 110-kV-Bestandstrasse führt.

Analog zu den Immissionswerten der 380-kV-Freileitung werden für die verwendeten Freileitungsprovisorien ebenfalls die zu erwartenden elektrischen Feldstärken, magnetischen Flussdichten und Koronageräusche ermittelt. Auch die beiden vorliegend betrachteten Fälle zeigen den geringsten Abstand zu Gebäuden oder Plätzen, an denen sich Personen nicht nur vorübergehend aufhalten. Alle anderen Provisorien haben größere Abstände und haben somit geringere Immissionen zur Folge.

3 Grenz- und Richtwerte der Immissionen

3.1 Allgemein

Für das Genehmigungsverfahren sind die mit der Maßnahme verbundenen Immissionen exemplarisch darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenz- und Richtwerte zu beurteilen. Hierbei handelt es sich um elektrische und magnetische Felder sowie um Koronageräusche, die von der geplanten 380-kV-Freileitung erzeugt werden können.

3.2 Elektrische und magnetische Felder

Im Bereich von Freileitungen treten aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiterseile elektrische und magnetische Felder auf. Es handelt sich um Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz). Diese Frequenz gehört zum sogenannten Niederfrequenzbereich.

Ursache des elektrischen Feldes ist die Spannung. Die elektrische Feldstärke wird in V/m (Volt pro Meter) oder kV/m (Kilovolt pro Meter) angegeben. Der Betrag hängt ab von der Höhe der Spannung, Anzahl und Abmessungen sowie von der geometrischen Anordnung und den Abständen der Phasen- und Erdseile am Mast, zum Boden und zu geerdeten Bauteilen. Da Netze mit annähernd konstanter Spannung betrieben werden, ergibt sich hierdurch kaum eine Variation der elektrischen Feldstärke. Die elektrische Feldstärke verändert sich lediglich geringfügig durch die vom Leiterstrom abhängende Leiterseiltemperatur und dem daraus resultierenden variierenden Seildurchhang und Bodenabstand.

Ursache für das magnetische Feld ist der elektrische Strom. Die magnetische Feldstärke wird in A/m (Ampere pro Meter) angegeben. Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte herangezogen. Die magnetische Feldstärke ist mit der Konstante μ_0 und der materialspezifischen Konstante μ_r , über den Faktor $\mu_0 \times \mu_r$ mit der magnetischen Flussdichte (bei Luft ist $\mu_r = 1$) verknüpft. Die Maßeinheit der magnetischen Flussdichte ist Tesla (T). Sie wird zweckmäßig in Bruchteilen als Mikrottesla (μT) angegeben. Je größer die Stromstärke desto höher ist auch die magnetische Flussdichte. Da die Stromstärke stark von der Netzbelastung abhängt, ergeben sich tages- und jahreszeitliche Schwankungen der magnetischen Flussdichte. Die Berechnungen wurden mit dem maximalen Dauerstrom des Nennlastbetriebes durchgeführt. Die Anforderungen des thermisch zulässigen Grenzstroms für den betroffenen Leiter nach DIN EN 50182 [2] werden erfüllt. Wie auch beim elektrischen Feld ist die magnetische Flussdichte abhängig von der Ausführung und der räumlichen Anordnung der Leiterseile und Erdseile am Mast, den Abständen zum Boden sowie der Anzahl der Erdseile. Die Flussdichte verändert sich ferner durch die vom Leiterstrom abhängigen Leiterseiltemperaturen und dem daraus resultierenden variierenden Leiterseildurchhang und Bodenabstand.

Die stärksten elektrischen und magnetischen Felder treten im Nahbereich der Leitung zwischen den Masten am Ort des größten Durchhanges der Leiterseile auf. Die Stärke der Felder nimmt mit zunehmender seitlicher Entfernung von der Leitung schnell ab.

Elektrische Felder können durch elektrisch leitfähige Materialien, z.B. durch bauliche Strukturen oder Bewuchs, gut abgeschirmt werden. Magnetfelder können anorganische und organische Stoffe nahezu ungestört durchdringen.

Für elektrische Anlagen mit Nennspannungen größer 1 kV gilt die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz (26. BImSchV) [3]. Dort sind zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen auf Personen, die sich in Gebäuden oder auf Grundstücken nicht nur vorübergehend aufhalten, folgende Immissionsgrenzwerte für Freileitungen mit einer Frequenz von 50 Hz festgelegt:

- elektrische Feldstärke 5 kV/m
- magnetische Flussdichte 100 μ T

Nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Dieser Forderung wurde durch die Festlegung der Bodenabstände auf mindestens 12 m nachgekommen.

Weitere Parameter, die die elektrischen und magnetischen Felder beeinflussen, sind die Wahl der Mastgeometrie, des Leiterseilquerschnittes, der Anzahl der Teilleiter sowie die Anordnung der einzelnen Phasen. Bereits zu Projektbeginn wurden diese Parameter unter Beachtung des Minimierungsgebotes im Rahmen der technischen Machbarkeit festgelegt.

Die in der Verordnung genannten Grenzwerte basieren auf den von der Internationalen Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung (ICNIRP) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vorgeschlagenen Grenzwerten und sollen dem Schutz und der Vorsorge der Allgemeinheit vor den Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern dienen. Die Werte werden ebenfalls vom Rat der Europäischen Gemeinschaft empfohlen.

In Deutschland sind den Berechnungen und Beurteilungen die höchste betriebliche Anlagenauslastung zugrunde zu legen (Nennlast). Im Betrieb werden die beantragten Leitungen jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht mit der zugrunde gelegten Nennlast betrieben, sondern im Normalfall mit einer Regellast von etwa 60% der Nennlast. Dementsprechend geringer sind auch die regelmäßig zu erwartenden auftretenden Magnetfelder. In einigen EU-Ländern werden andere Rahmenbedingungen zur Berechnung der Grenzwerte, wie z. B. der durchschnittliche Betriebsstrom, vorgeschrieben. Die genannten Werte sind daher international nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar.

Von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) wurden Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV [4] festgelegt. In dieser Richtlinie sind im Kapitel II.3.1 die Einwirkungsbereiche von Niederfrequenzanlagen und maßgebliche Immissionsorte beschrieben. Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind (siehe hierzu auch Kapitel II.3.2) und sich in folgendem genanntem Bereich einer Anlage befinden. Für Freileitungen gilt die Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leitern angrenzenden Streifens:

- 380-kV-Freileitungen 20 m
- 220-kV-Freileitungen 15 m
- 110-kV-Freileitungen 10 m
- Freileitungen mit Spannung kleiner 110 kV 5 m

Für Erdkabel wird ein Bereich im Radius um das Kabel von 1 m angegeben.

Die Werte der ermittelten elektrischen und magnetischen Felder sowie die Koronageräusche beziehen sich auf eine Höhe von 1 m über EOK (Erdoberkante). Vorsorglich hat die Vorhabenträgerin zusätzlich die Werte in einer Höhe von 4 m über EOK ermittelt, wenn Gebäude mit bewohntem Obergeschoß im oben genannten Bereich der Leitung liegen.

Diese wurden hier exemplarisch mit betrachtet. Allerdings befinden sich aufgrund der sorgfältigen Trassenplanung keine Gebäude im unmittelbaren Nahbereich der Freileitung, sodass hier eigentlich keine Berechnungen auf Häuser oder Grundstücke erforderlich wären.

3.3 Koronageräusche

Während des Betriebes von Freileitungen kann es bei ungünstigen Wetterbedingungen wie z. B. sehr feuchter Witterung (Regen oder hohe Luftfeuchte durch Nebel) zu Korona-Entladungen an der Oberfläche der Leiterseile kommen. Dabei können, zeitlich begrenzt, Geräusche verursacht werden.

Der Schallpegel hängt neben den Witterungsbedingungen im Wesentlichen von der elektrischen Feldstärke auf der Oberfläche (= Randfeldstärke) der Leiterseile ab. Die Randfeldstärke wird beeinflusst durch die Höhe der Spannung, Anzahl der Leiterseile je Phasen, Leiterseildurchmesser sowie durch die geometrischen Abstände der Leiterseile und Erdseile untereinander sowie zu geerdeten Bauteilen und zum Boden.

Gemäß TA Lärm [5] betragen die Immissionsrichtwerte außerhalb von Gebäuden nachts:

- Industriegebiete 70 dB(A) (keine Unterscheidung der Tageszeit)
- Gewerbegebiet 50 dB(A)
- Kern-, Dorf- und Mischgebiete 45 dB(A)
- allgemeine Wohngebiete 40 dB(A)
- reine Wohn- und Kurgebiete 35 dB(A)

Für Wohngebäude im Außenbereich gelten grundsätzlich die Werte für Mischgebiete von 45 dB(A).

4 Ermittlung der Immissionswerte

4.1 Allgemein

Mittels des Rechenprogramms WinField der Firma Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU) werden für die Freileitung die zu erwartenden

- elektrischen Feldstärken,
- magnetischen Flussdichten,
- Koronageräusche (Schallpegel)

ermittelt. Bei den Erdkabelabschnitten wird lediglich die magnetische Flussdichte bestimmt. Das elektrische Feld wird durch die Auskreuzung der Kabelschirme kompensiert, sodass sich keine Immission ergibt. Ebenso entstehen keine Koronageräusche bzw. Lärmemissionen aus dem Betrieb der Kabelanlage. Betrachtet wird hingegen die Wärmeabgabe aus dem Betrieb der Erdkabel.

Die Berechnungen der elektrischen Feldstärke, magnetischen Flussdichte und Koronageräusche basieren auf den in Kapitel 4.2 aufgeführten Berechnungsparametern.

4.2 Berechnungsparameter

In Tabelle 1 werden die zur Ermittlung der elektrischen Feldstärken, magnetischen Flussdichten und Koronageräusche verwendeten Berechnungsparameter aufgelistet. Diese entsprechen den Vorgaben der 26. BImSchV, die für Berechnungen und deren Beurteilung die höchste betriebliche Anlagenauslastung zugrunde zu legen.

Tabelle 1: Berechnungsparameter zur Ermittlung der Immissionen für die Freileitung

	Spannfeld	Spannung pro System	Stromstärke pro System	Parameter für Immissionsberechnung		Minimaler Bodenabstand im Spannfeld am Immissionsort
380-kV-Freileitung	901 – 902 (Musterberechnung)	System 1: 380 kV System 2: 380 kV	System 1: 1.200 A System 2: 1.200 A	420 kV	4.000 A	12,3 m
380/110-kV-Freileitung	3 – 4	System 1: 380 kV System 2: 380 kV System 3: 110 kV System 4: 110 kV	System 1: 1.200 A System 2: 1.200 A System 3: 680 A System 4: 680 A	420/ 123 kV	4.000/ 2.100 A	12,9 m
380-kV-Freileitung	55 - 56	System 1: 380 kV System 2: 380 kV	System 1: 1.200 A System 2: 1.200 A	420 kV	4.000 A	15,5 m
220-kV - Provisorium	o. Nr.	System 1: 220 kV	System 1: 900 A	245 kV	900 A	10,0 m 10,7 m
110-kV - Provisorium	o. Nr.	System 1: 110 kV System 2: 110 kV	System 1: 680 A System 2: 680 A	123 kV	680 A	9,9 m

Die Geometrie der Maste, die Spannfeldlängen, die Seildurchhänge sowie die Lage der tangierten Gebäude sind den Anlagen 1 (Anhang B), 4 und 5 der Planfeststellungsunterlage (Anlage 1 (Anhang B): Mastprinzipzeichnungen und Regelgrabenprofile, Anlage 4: Lage-, Bauwerks- und Grunderwerbspläne, Anlage 5: Längen- und Höhenprofile) einsehbar. Mastprinzipzeichnungen und Phasenführung sind auch in den Berechnungsnachweisen dargestellt.

4.3 Berechnungsergebnisse der zu erwartenden Immissionen für die Freileitungstrasse

Bei den Immissionsberechnungen handelt es sich um Musterrechnungen. Für die Muster wurden Felder mit dem geringsten Bodenabstand ausgewählt, die somit den ungünstigsten Fall bzw. das Feld mit dem höchsten Immissionswert repräsentieren. Berechnungen wurden daher für die Felder zwischen Mast 901 – 902 (Musterberechnung) und Mast 3 – 4 durchgeführt weil hier minimale Bodenabstände von 12,3 m bzw. 12,9 m vorliegen und damit die höchsten Werte zu erwarten sind sowie zum Vergleich mit Einebenenmasten im Feld Mast 55 – 56. Da beim Bau der 380-kV-Leitung zeitweise auch Freileitungsprovisorien eingesetzt werden (vgl. Kap. 2.2) wurde für die verwendeten Leitungsgestänge der Spannungsebene 220 kV und 110 kV ebenfalls jeweils eine Berechnung durchgeführt (Ergebnisse in den Anhängen 4.1, 4.2 und 5 des Immissionsberichtes).

Die in Tabelle 2 zusammengefassten Ergebnisse zeigen, dass die vorgegebenen Grenzwerte der 26. BImSchV deutlich unterschritten werden. Auch der Richtwert der TA Lärm für Kern-, Dorf- und Mischgebiete von 45 dB(A) wird unter den Leitungen unterschritten. Der vergleichsweise hohe Wert des 220-kV-Provisoriums ist durch den geringeren Bodenabstand begründet aber zeitlich auf die Bauphase beschränkt und entfällt mit der Inbetriebnahme der 380-kV-Leitung.

Tabelle 2: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen unterhalb der Leitungsachse der Freileitung

Prüfgegenstand	Spannfeld	Minimaler Bodenabstand im Spannfeld am Immissionsort:	Magnetische Flussdichte in 1 m Höhe über dem Boden	Elektrische Feldstärke in 1 m Höhe über dem Boden	Schallpegel in 1 m Höhe über dem Boden (ohne Tonzuschlag)
380-kV-Freileitung	901 - 902 (Musterberechnung)	12,3 m	41,6 μ T	4,1 kV/m	45,7 dB (A)
380/110-kV-Freileitung	3 – 4	12,9 m	38,8 μ T	1,6 kV/m	41,7 dB (A)
380-kV-Freileitung	55 - 56	15,5 m	18,3 μ T	1,8 kV/m	46,0 dB (A)
220-kV-Provisorium	o. Nr.	10,0 m 10,7 m	19,2 μ T	2,9 kV/m	44,1 dB (A)
110-kV-Provisorium	o. Nr.	9,9 m	10,0 μ T	0,97 kV/m	24,0 dB (A)

Insbesondere wurden Immissionsberechnungen für ausgewählte Immissionsorte durchgeführt. Bei den Immissionsorten handelt es sich um Örtlichkeiten, die entsprechend der Vorgabe der 26. BImSchV ausgewählt wurden und an denen mit den höchsten Immissionen entlang der Trasse zu rechnen ist, da sie den geringsten Abstand zur Trassenachse aufweisen.

Eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse liegt in Anhang 1 des Immissionsberichts vor. Die Berechnungen zu einzelnen relevanten Immissionsorten liegen diesem Bericht in den Anhängen 2.2, 2.3 und 3.2 bei. Da beim Bau der 380-kV-Leitung zeitweise auch Freileitungsprovisorien eingesetzt werden (vgl. Kap. 2.2) wurde für die verwendeten Leitungsgestänge ebenso eine Berechnung durchgeführt, die Anhang 4 und 5 zu entnehmen ist. Beim 380/110-kV-Leitungsabschnitt beträgt der Abstand zum nächstgelegenen Immissionsort 136 m. Eine Berechnung ist daher hier nicht sinnvoll².

Die Berechnung der Immissionswerte zeigt, dass an den zu überprüfenden Immissionsorten weder der Grenzwert von 5 kV/m für die elektrische Feldstärke, noch der Grenzwert von 100 μ T für die magnetische Flussdichte auch nur annähernd erreicht wird. Dies trifft auch für den Richtwert für Geräusche für Kern-, Dorf- und Mischgebiete (nachts) von 45 dB(A) zu.

4.4 Berechnungen der magnetischen Flussdichte der Kabelabschnitte Henstedt-Ulzburg und Kisdorferwohld im Bereich des Regelgrabenprofils

Auf 86,5 % der Trassenlänge im Kabelabschnitt Henstedt-Ulzburg und auf 98,6 % der Trassenlänge des Abschnitts Kisdorferwohld soll das Regelgrabenprofil zum Einsatz kommen. Dies ist gleichzeitig auch das Profil mit der geringsten Legetiefe (vorgegebene Tiefe von 1,6 m bezogen auf die Achse des Kabelschutzrohres). Bei allen anderen Profilen (die nur bedarfsweise auf kürzeren Trassenabschnitten zum Einsatz kommen) ist die Legetiefe erheblich größer.

Die erzeugten magnetischen Felder wurden für einen Bereich von ± 20 m beidseitig der Trassenmittellachse in einer Höhe von 0,2 m über der Erdoberfläche für die Legetiefen 1,5 m und 1,8 m berechnet (siehe Abbildung 1). Hintergrund dieser Berechnung ist der Umstand, dass im Baugeschehen die Tiefenlage der Kabel bzw. der Kabelschutzrohre auf der gesamten Kabeltrasse mitunter nicht zentimetergenau eingehalten werden könnte (+10/-20 cm).

Dargestellt ist in Abbildung 1 der Ersatzwert der magnetischen Flussdichte. Der Ersatzwert wird unter Berücksichtigung der ungleichmäßigen Aufteilung der Leiterströme sowie der induzierten Ströme in den Kabelschirmen berechnet. Die ungleichmäßige Stromaufteilung infolge der induktiven Verkopplung und in geringerem Maße auch die induzierten Ströme in den Kabelschirmen führen zu einer signifikanten Verringerung der maximalen magnetischen Flussdichte, d.h. in der Berechnung wird explizit keine fiktive Anordnung mit gleichmäßiger Stromaufteilung und ohne Berücksichtigung zusätzlicher Schirmströme eingesetzt.

² Eine Berechnung ergab bei einer Entfernung von 136 m eine elektrische Feldstärke von 0,03 kV/m, eine magnetische Flussdichte von 0,9 μ T und einen Schallpegel von 25 dB(A).

Der Immissionswert der magnetischen Flussdichte in 0,2 m Höhe über der Geländeoberkante bleibt selbst bei einer Stromstärke von 4000 A unterhalb 100 μT und hält somit auch den Grenzwert der 26. BImSchV für Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen ein.

Ersatzwert der magnetischen Flussdichte bei 4000 A/ 4000 A in 0,2 m Höhe über der Erdoberfläche

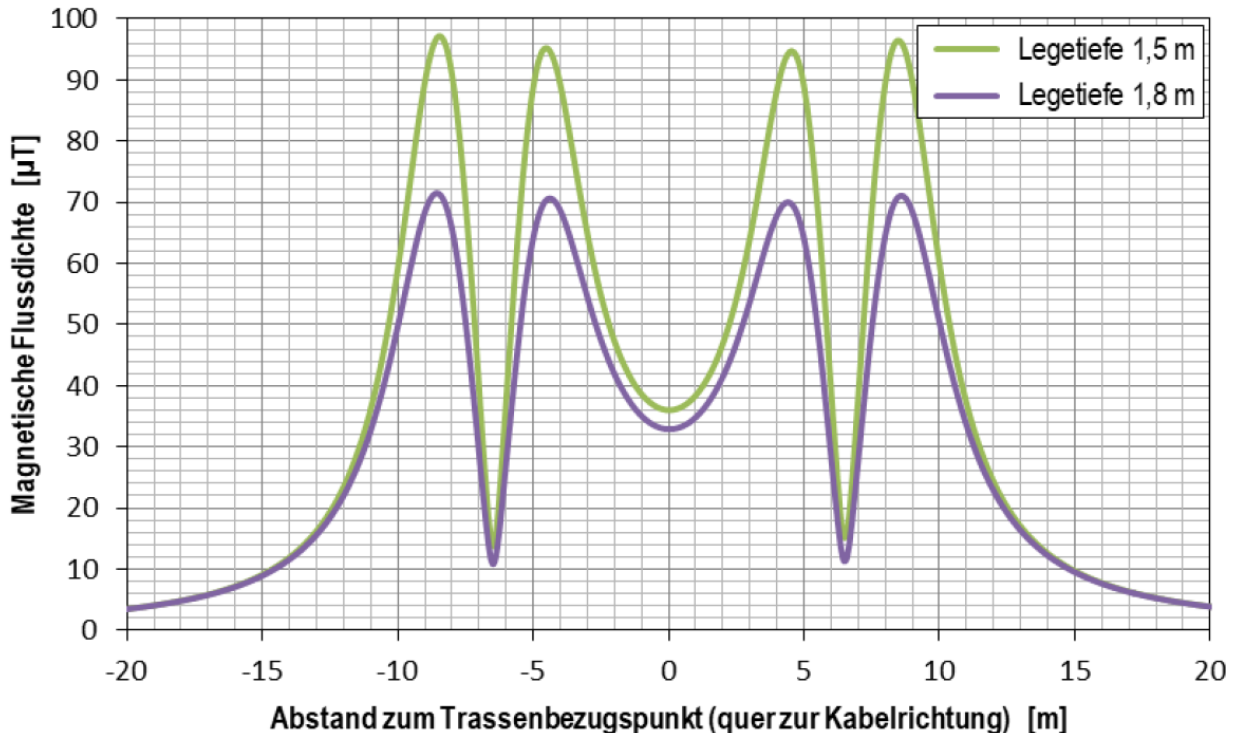


Abbildung 1: Berechnete magnetische Flussdichte für eine Strombelastung von 4000 A pro Stromkreis bei einer Legetiefe von 1,5 m der 380-kV-Erdkabel

4.5 Magnetische Flussdichten an ausgewählten Punkten mit Bebauung

Die magnetische Flussdichte wurde zusätzlich für vier ausgewählte Punkte in der Umgebung der Kabeltrasse untersucht. Es handelt sich dabei um Bereiche, auf denen sich die Kabeltrasse an bebauten Gebiete annähert. Diese bebauten Gebiete gelten im Sinne der 26. BImSchV als Bereiche, die „zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind“ [3]. Nur für solche Gebiete ist die Einhaltung des Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nachzuweisen.

Beim Erdkabelabschnitt UW Kreis Segeberg – KÜA Henstedt-Ulzburg/Ost wurde für zwei Immissionsorte, an denen die Erdkabeltrasse die geringste Entfernung zu Wohngebäuden aufweisen, Immissionsberechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Zwischen den Gemeindeteilen Henstedt und Ulzburg unterquert die Kabeltrasse die Hamburger Straße (L326). Die Trassenachse befindet sich in einer Entfernung von 16,8 m westlich eines Wohngebäudes mit gewerblicher Nutzung. Die Hamburger Straße und die dort liegenden Versorgungsleitungen sollen mit Spülbohrungen unterquert werden. Die Trasse liegt an diesem Punkt in einer Tiefe von 3,4 m.

Am Nordrand des Gemeindeteils Ulzburg, nördlich des Brombeerweges liegt der Neubau eines Wohnhauses in dessen Nähe die Erdkabeltrasse geplant ist. Der horizontale Abstand der Trassenachse zu diesem Haus beträgt 24,0 m. Die Erdkabeltrasse setzt in diesem Bereich erst zur Unterquerung der Gewässer der Pinnau (Fließ- und Stillgewässer) an, so dass sich an der bezeichneten Stelle die Erdkabel noch in einer Tiefe von 1,6 m befinden.

Tabelle 3: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen des Erdkabelabschnitts UW Kreis Segeberg – KÜA Henstedt-Ulzburg/Ost

Prüfgegenstand	Längestation (km)	Verlegeart	Minimale Überdeckung Rohr Oberkante bis EOK (m)	Magnetische Flussdichte (μT) am Objekt in 0,2 m Höhe über dem Boden	Magnetische Flussdichte (μT) am Flurstück in 0,2 m Höhe über dem Boden
380-kV-Erdkabel	2+062	Bohrung	3,40	19,40	48,90
380-kV-Erdkabel	2+310	Bohrung	1,60	2,80	7,90

Im Abschnitt KÜA Kisdorferwohld/West – KÜA Kisdorferwohld/Ost nähert sich die Achse der Erdkabeltrasse in der Gemeinde Kisdorf in der Straße Ellernbrook auf 34,6 m einem Wohnhaus. Der dem Wohnhaus am nächsten gelegene Punkt der Kabeltrasse befindet sich bei Trassen-km 1+022. Hier gilt das Regelgrabenprofil mit einer Verlegetiefe von 1,8 m. Im weiteren Verlauf der Kabeltrasse nähert sich die Achse an der Wakendorfer Straße auf 61,8 m bei Trassen-km 1+410 an ein Gebäude (Hotelanlage) an. Die Kabeltrasse unterquert hier die Wakendorfer Straße in einer Tiefe von 3,4 m. Die Ergebnisse für die beiden Immissionsorte sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Der nach 26. BImSchV zulässige Grenzwert der magnetischen Flussdichte von 100 μT wird in den beiden Erdkabelabschnitten deutlich unterschritten.

Tabelle 4: Zusammenfassung der zu erwartenden Immissionen des Erdkabelabschnitts KÜA Kisdorferwohld/West – KÜA Kisdorferwohld/Ost

Prüfgegenstand	Längestation (km)	Verlegeart	Minimale Überdeckung Rohr Oberkante bis EOK (m)	Magnetische Flussdichte (μT) am Objekt in 0,2 m Höhe über dem Boden	Magnetische Flussdichte (μT) am Flurstück in 0,2 m Höhe über dem Boden
380-kV-Erdkabel	0+991	Bohrung	1,80	1,90	8,40
380-kV-Erdkabel	1+374	offene Verlegung	3,40	0,70	12,00

5 Gleichzeitige Immissionen von elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich zwischen 1 Hz und 10 MHz

Die 26. BImSchV schreibt im §3 Absatz 3 vor, dass bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte der zu errichtenden Niederfrequenzanlage alle Immissionen zu berücksichtigen sind, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz entstehen. Hierbei handelt es sich um Richtfunkstrecken, die sich in gehörigem Abstand oberhalb der Freileitungsmasten und Leiterseile befinden. Die 380-kV-Freileitung ist so konstruiert, dass keine Beeinträchtigung der Richtfunkstrecken eintritt. Gemäß Anhang 2a der 26. BImSchV muss die zu errichtende Niederfrequenzanlage folgende Bedingungen erfüllen:

Elektrische Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1$$

Magnetische Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1$$

hierbei sind $I_{E,i}$, $I_{M,i}$ die Immissionsbeiträge der zu berücksichtigenden Anlagen und $G_{E,i}$, $G_{M,i}$ die entsprechenden Grenzwerte.

Nach den vorliegenden Kenntnissen sind im Einwirkungsbereich der 380-kV-Leitung zwischen dem UW Kreis Segeberg und dem UW Raum Lübeck keine weiteren Anlagen mit Immissionen im Frequenzbereich von 1 Hz und 10 MHz, die zu berücksichtigen sind. Somit ergeben sich auf Basis der Werte aus den Tabellen in den Anhängen 1 und 6 für den ungünstigsten Fall (Standorte unter der 380-kV-Freileitung bzw. über der Erdkabelleitung) entsprechend den o.g. Anforderungen:

für die elektrischen Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1 \rightarrow \frac{2,86 \frac{\text{kV}}{\text{m}}}{5,0 \frac{\text{kV}}{\text{m}}} = 0,572 \leq 1$$

und für magnetische Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1 \rightarrow \frac{48,90 \mu\text{T}}{100 \mu\text{T}} = 0,489 \leq 1$$

Die Anforderungen der 26. BImSchV werden somit erfüllt.

6 Wärmeimmissionen in den Erdkabelabschnitten

Während des Betriebs der Kabelanlage kommt es zu einer Erwärmung der Kabel an der Leiteroberfläche und ihrer unmittelbaren Umgebung. Die Temperatur an der Kabeloberfläche eines 380-kV-Erdkabels hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab (z.B. der technischen Ausführung). Sie kann in Extremfällen an der Leiteroberfläche kurzzeitig bei bis zu 90° C liegen (maximale Belastungstemperatur). In einem Notlastbetrieb können nach 48 Stunden Kabeltemperaturen von um die 87° C erreicht werden. Dabei entstehen am Schutzrohr Temperaturen zwischen 44 und 55° C. Um Schäden an den Kabeln zu vermeiden, muss nach dieser Zeit wieder der Normalbetrieb erfolgen, bei dem am Schutzrohr Temperaturen von 34 bis 37° C vorherrschen. Für die Berechnung der Wärmeimmission während des Normalbetriebs wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Kenngrößen verwendet.

Tabelle 5: Ausgangsparameter zur Berechnung der Wärmeimmissionen

Ausgangsparameter	
Maximale Bodentemperatur	15° C
Spezifischer Wärmewiderstand des Erdbodens ($0 \leq H \leq 2$ m), feucht/trocken	1,0 K*m/W / 2,5 k*m/W
Spezifischer Wärmewiderstand des Erdbodens ($2 \leq H \leq 3,5$ m), feucht/trocken	0,9 K*m/W
Spezifischer Wärmewiderstand des Erdbodens ($H > 3,5$ m), feucht/trocken	0,75 K*m/W
Spezifischer Wärmewiderstand einer thermisch stabilisierten Rückfüllung	1,0 K*m/W
Spezifischer Wärmewiderstand übrige Rückfüllung, feucht/trocken	1,0 K*m/W / 2,5 k*m/W
Verlegetiefe (Rohrachse)	1,6 m
Achsenabstand der Kabel	0,75 m

Bei einer typischen Last von 1.800 A im Normalbetrieb ergibt sich im Oberboden in einer Tiefe von 20 cm, also an der Untergrenze der Ackerkrume bzw. des Pflughorizontes eine Erhöhung der Bodentemperatur um ca. 1,5° C. Die Erhöhung betrifft allerdings lediglich einen Bereich von je ca. 5 m Breite direkt über den beiden Kabelgräben. Seitlich davon sinkt die Temperatur nach einem Meter bereits auf eine Erhöhung um 1° C und nach 2 m auf ca. 0,5° C.

7 Zusammenfassung

Entsprechend den Anforderungen der 26. BImSchV, der Richtlinie zur Durchführung der Berechnung von elektrischen und magnetischen Feldern und der TA Lärm, wurden für die im Bereich der Leitung zu erwartenden Immissionen an Immissionsorten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind, ermittelt.

Für die Immissionsorte betragen im ungünstigsten Fall die Werte für:

- die elektrische Feldstärke am Objekt: 0,29 kV/m,
- die elektrische Feldstärke am Boden des Flurstücks: 2,86 kV/m,
- die magnetische Flussdichte am Objekt: 17,50 μ T (Erdkabel),
- die magnetische Flussdichte am Boden des Flurstücks: 52,40 μ T,
- die Koronageräusche am Objekt: 42,83 dB(A),
- die Koronageräusche am Flurstück: 49,60 dB(A).

Die vom Verordnungsgeber in der 26. BImSchV festgelegten Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte werden in allen Spannfeldern deutlich unterschritten. Die Immissionsrichtwerte der TA Lärm für Kern-, Dorf- und Mischgebiete werden im Spannfeld des 220-kV-Provisoriums am Flurstück zwar überschritten, am Objekt aber eingehalten.

8 Literatur

- [1] Rechenprogramm WinField, EFC-400, Version 2014, der Firma Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU), Berlin

- [2] DIN EN 50182: Leiter für Freileitungen, Leiter aus konzentrisch verseilten runden Drähten, Dez. 2001

- [3] 26. BImSchV zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)

- [4] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung) in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. Und 18. September 2014

- [5] Technische Anweisung zum Schutz gegen Lärm; Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Lärm) v. 26. August 1998