

**EMF – Untersuchung
(Elektrische und magnetische Felder)**

für das Planfeststellungsverfahren zur

**110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord
Nr. 186 (LH-13-186)**

Anlagenbetreiber / Auftraggeber:

Schleswig-Holstein Netz GmbH
Schleswig-HeinGas-Platz 1
25451 Quickborn



Durchführung / Berechnung der Immissionsprognose:

EQOS Energie GmbH
Wolfentalstraße 29
88400 Biberach



Inhaltsverzeichnis

1.	Einführender Teil.....	4
1.1.	Angaben zur Anlage, Antragsteller und Bearbeiter	4
1.2.	Veranlassung	5
1.3.	Aufgabenstellung	5
1.4.	Elektrotechnische Erläuterungen.....	5
1.4.1.	Aufbau der 110-kV-Leitung.....	5
1.4.2.	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder	6
1.4.3.	Das elektrische Feld.....	6
1.4.4.	Das magnetische Feld.....	7
1.4.5.	Gesetzliche Grenzwerte	7
1.4.6.	Auftreten und Abschirmung	8
1.4.7.	Nicht mögliche Minimierungsaspekte.....	9
1.4.8.	Primäre Minimierungsmaßnahmen	9
1.4.9.	Sekundäre Minimierungsmaßnahmen	9
2.	Ausgangssituation	13
2.1.	Übersicht der verwendeten Unterlagen	13
2.2.	Technische Parameter.....	13
2.2.1.	Parameter der geplanten 110-kV-Leitung	13
2.2.2.	Parameter zu den vorgesehenen Leitern	13
2.2.3.	Parameter weiterer zu berücksichtigender Anlagen	14
2.2.4.	Benennung nicht zu berücksichtigender Anlagen.....	14
2.2.5.	Umgebungsbedingungen	15
3.	Kartografische Darstellung	16
3.1.	Übersicht der technischen Unterlagen.....	16
3.2.	Übersicht der immissionsrechtlichen Unterlagen	16
4.	Ermittlung der Immissionen	17
4.1.	Verwendete Software.....	17
4.2.	Verwendete Geodaten	17
4.3.	Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte	17
4.4.	Bewertungsabstand und Einwirkungsbereich	17
4.5.	Maßgebliche Immissions- und Minimierungsorte	18
4.6.	Oberwellenanteile	18
5.	Ergebnisse	19
5.1.	Grenzwerteinhaltung.....	19
5.2.	Überspannungsverbot für Höchstspannungsfreileitungen	19
5.3.	Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden	19

5.4.	Raumentladungswolken.....	20
5.5.	Minimierungsgebot	20
5.6.	Darstellung der Berechnungsergebnisse.....	20
6.	Qualität	21
6.1.	Bestätigung der Richtigkeit aller Angaben	21
6.2.	Angaben zu Berechnungsunsicherheiten	21
6.3.	Schwierigkeiten in der Erstellung der Untersuchung.....	21
7.	Fazit.....	21
8.	Glossar	22
9.	Abbildungsverzeichnis.....	24
10.	Tabellenverzeichnis.....	24

1. Einführender Teil

1.1. Angaben zur Anlage, Antragsteller und Bearbeiter

Die vorliegende Untersuchung bewertet die zu erwartenden Immissionen durch elektrische und magnetische Felder im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für die 110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord. Im Folgenden sind Informationen über das Planfeststellungsverfahren, die Anlage und die beteiligten Institutionen aufgeführt.

Bezeichnung der Anlage:

110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr.LH 13- 186

Verfahren:

Planfeststellungsverfahren nach §43 EnWG

Verfahrensführende Behörde:

Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur
des Landes Schleswig-Holstein
- Amt für Planfeststellung Energie (AfPE) –
Mercatorstraße 5
24106 Kiel

Antragsteller / Betreiber und Auftraggeber der Untersuchung:

Schleswig-Holstein Netz GmbH
Schleswig-HeinGas-Platz 1
25451 Quickborn

Durchführung der Untersuchung / Auftragnehmer:

EQOS-Energie Deutschland GmbH
Wolfentalstraße 29
88400 Biberach

Bearbeiter:

Verantwortlicher Bearbeiter

Peter Lohmüller
(EQOS-Energie)



Gesamtbearbeitung Immissionsunterlage:

Leitungstechnische Berechnung
Immissionsberechnung
Prüfung Immissionen
Bericht und Prüfung
Prüfung Auftraggeber

Michael Bär (EQOS-Energie)
Dipl. Ing. David Piwonski (EQOS-Energie)
MSc Diana Necsulescu (EQOS-Energie)
Akad. Geoinformatiker Peter Lohmüller
Marlien Greve (SH Netz GmbH)

Berichtsdatum: 28.04.2025

Version: V.1.01/240626

Sachkundehinweis:

Die für die Berechnung und Interpretation notwendige Sachkunde ergeht über die akademischen Abschlüsse und werden im Rahmen wiederkehrender Schulungen bei der FGEU mbH von den bearbeitenden und prüfenden Personen aktualisiert.

1.2. Veranlassung

Die Schleswig-Holstein Netz GmbH (künftig SH Netz genannt) plant, wie im Erläuterungsbericht unter Anlage 1 genannt, die Errichtung und den Betrieb der 110-kV-Freileitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr. 186 zwischen dem neuen Umspannwerk (UW) Hardebek (östlich von Hardebek gelegen) und dem UW Kellinghusen/Nord, als parallel verlaufender Ersatzneubau für die bestehende und im Bereich des Neubaus rückzubauende 60-kV-Leitung Nr. 00431 (der SH Netz).

Die Leitung hat eine Länge von etwa 15 km. Die Trassenführung orientiert sich an der zu ersetzenden und rückzubauenden 110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr. 186 vom UW Hardebek aus startend in westliche Richtung.

Im Zuge des Planfeststellungsverfahrens werden die Auswirkungen durch den Betrieb der geplanten 110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr. 186 bezüglich deren elektrischen und magnetischen Immissionen als Prognose berechnet und grafisch (Anlage M01.2) sowie tabellarisch (Anlage M01.1 D) dargestellt.

Auch hinsichtlich des künftigen Betriebslärms wurde die geplante Anlage untersucht und eine getrennte Schallimmissionsprognose unter Anlage M01.1 C (grafisch unter Anlage M01.4) erstellt.

1.3. Aufgabenstellung

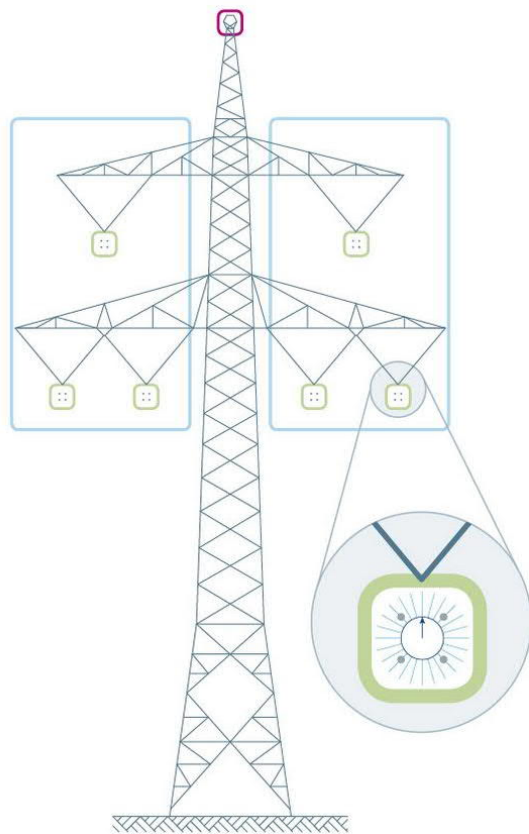
Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, die Vorgaben für elektrische und magnetische Felder durch das Vorhaben der geplanten 110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr. 186 einzuhalten. Die rechtliche Grundlage hierfür bildet die 26. BImSchV sowie die mit ihr in Verbindung stehende 26. BImSchVVwV.

Gemäß den zuvor genannten Verordnungen ist sicherzustellen, dass die hier zu genehmigende Niederfrequenzanlage bei höchster betrieblicher Auslastung die in der BImSchV genannten Grenzwerte (siehe Kapitel 1.4.4) stets eingehalten werden.

1.4. Elektrotechnische Erläuterungen

1.4.1. Aufbau der 110-kV-Leitung

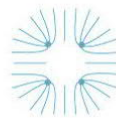
Vorab wird beispielhaft die Bauweise einer 110-kV-Leitung dargestellt, um in den folgenden Kapiteln auftretende Bezeichnungen zu erleichtern.



Beseilung eines 2-systemigen Hochspannungsmasten

Die Beseilung von Freileitungsmasten kann, je nach Masttyp und Maststandort, variieren.

- An jeder Mastspitze befindet sich als Blitzschutzfunktion in der Regel ein Erdseil mit Lichtwellenleiter
- Auf jeder Seite des Strommasten befindet sich ein Stromkreis
- Jeder Stromkreis setzt sich aus drei Phasen zusammen, die sich je nach Masttyp unterschiedlich auf den Ebenen eines Masten verteilen
- ⋮ Sind je Phase eines Strommastes mehrere Teileiter angeordnet, wie hier als 4er-Bündel,
- ⌚ entsteht ein sogenannter Ersatzradius.
- ☁ Entsprechend rücken die hier zur Veranschaulichung idealisiert angenommenen Feldlinien noch weiter auseinander und die Randfeldstärke wird verringert. Im Vergleich zu Leitungen mit Einfachseil oder 2er-Bündeln sind Leitungen mit 4er-Bündeln daher deutlich leiser.



Realitätsnahe Darstellung der elektrischen Randfeldstärke am Leiterbündel.

Abbildung 1: Aufbau/Beseilung eines Freileitungsmastes (Donaumast)

Sollten Fachbegriffe unbekannt sein und diese nicht in den einzelnen Textabschnitten selbst erklärt werden, befindet sich am Ende des Dokumentes noch das Glossar, welches diese kurz beschreibt.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder sind voneinander unabhängig und werden daher auch hier in der Unterlage getrennt voneinander betrachtet.

1.4.2. Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Beim Betrieb von Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität werden elektrische und magnetische Felder mit einer Frequenz von 50 Hz erzeugt. Diese sind in unmittelbarer Nähe der stromführenden Leiter der Höchstspannungsfreileitung am größten und nehmen mit zunehmender Entfernung zu den Leitern rasch ab. Diese elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten lassen sich berechnen und als Prognoseergebnis in der hier vorliegenden Immissionsunterlage darstellen.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder sind voneinander unabhängig und werden daher auch hier in der Unterlage getrennt voneinander betrachtet. Ein elektrisches Feld gibt es um jeden elektrisch geladenen Körper. Es besteht aus Feldlinien, die an den jeweiligen Ladungen enden. Das magnetische Feld umgibt den stromdurchflossenen Leiter.

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

1.4.3. Das elektrische Feld

Ursache des elektrischen Feldes ist die Spannung. Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter (V/m) oder Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

Der Betrag hängt ab von:

- der Höhe der Spannung
- der Entfernung zum Immissionsort bzw. den Abständen zum Boden
- der Konfiguration der Leiterseile am Mast
- dem Vorhandensein von Erdseilen
- der Phasenfolge.

Da Netze mit annähernd konstanter Spannung betrieben werden, ergibt sich kaum eine Variation der Feldstärke. Die Feldstärke verändert sich lediglich durch die mit der Leiterseiltemperatur variierenden Bodenabstände.

1.4.4. Das magnetische Feld

Ursache für das magnetische Feld ist der elektrische Strom. Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) angegeben. Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte herangezogen, die bei Vakuum und näherungsweise auch bei Luft ausschließlich über eine physikalische Konstante (magnetische Feldkonstante) μ_0 mit der magnetischen Feldstärke verknüpft ist. Die Maßeinheit der magnetischen Flussdichte ist das Tesla (T). Sie wird zweckmäßigerweise in Bruchteilen als Mikrottesla (μT) angegeben.

Je größer die Stromstärke, desto höher ist auch die magnetische Feldstärke.

Da die Stromstärke stark von der Netzbelastung abhängt, ergeben sich tages- und jahreszeitliche Schwankungen der magnetischen Flussdichte.

Wie auch beim elektrischen Feld hängt die räumliche Ausdehnung und Größe ab von

- der Höhe des Stromes
- der Entfernung zum Immissionsort bzw. den Abständen zum Boden
- der Konfiguration der Leiterseile am Mast
- dem Vorhandensein von Erdseilen
- der Phasenfolge.

Die Feldstärke bzw. Flussdichte verändert sich zusätzlich durch die mit der Leiterseiltemperatur variierenden Bodenabstände bzw. die Entfernung zum Immissionsort.

1.4.5. Gesetzliche Grenzwerte

Die gesetzlichen Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder sind in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) festgelegt. Diese gibt als Grenzwerte für die Freileitung bei einem Betrieb mit 50 Hertz (niederfrequente Anlagen) folgende Maximalwerte vor:

- für die magnetische Flussdichte **100 Mikrottesla (μT)**
- für die elektrische Feldstärke **5 Kilovolt pro Meter (kV/m)**.

Diese Maximalwerte beruhen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und Empfehlungen der nationalen Strahlenschutzkommission (SSK) und der internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP).

Damit liegen die Höchstgrenzen um den Sicherheitsfaktor 50 unterhalb der Schwellenwerte, bei denen akute Wirkungen nachgewiesen werden konnten. So wird den unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, der individuellen Empfindlichkeit, dem Alter und dem Gesundheitszustand der Menschen Rechnung getragen.

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beobachtet laufend die internationalen Forschungen und passt im Bedarfsfall ihre Grenzwertempfehlung dem neuesten Stand der Technik an.

1.4.6. Auftreten und Abschirmung

Die stärksten elektrischen und magnetischen Felder treten direkt unterhalb der Freileitungen zwischen den Masten am Ort des größten Durchhanges der Leiterseile auf. Die Stärke der Felder nimmt mit zunehmender seitlicher Entfernung von der Leitung 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.

Im Regelbetrieb (Betriebsstrom = 2.216 A) liegt die magnetische Flussdichte direkt unter einer 110-kV-Drehstromleitung bei etwa 20 μT . Der gesetzliche Grenzwert von 100 μT (gem. 26. BImSchV) wird dadurch deutlich unterschritten.

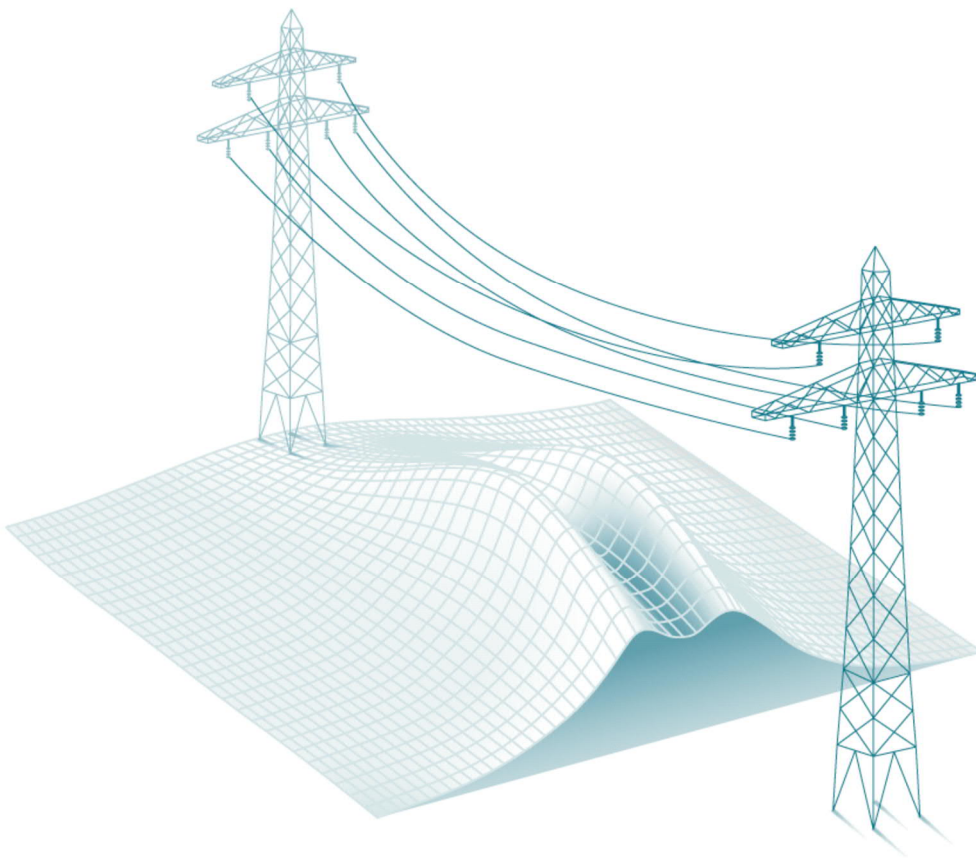


Abbildung 2: Darstellung eines magnetischen Feldes unter einer Hochspannungsleitung (mit Donaumasten)

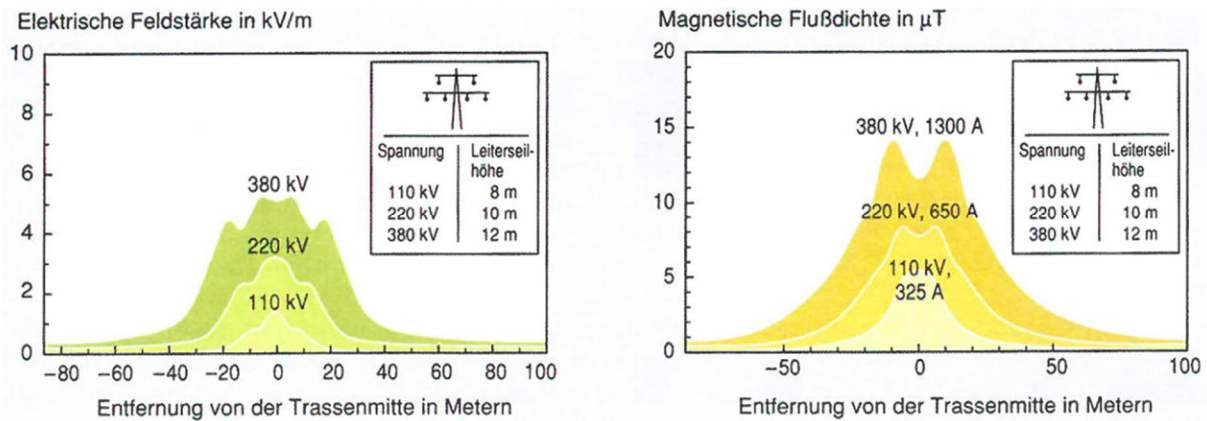


Abbildung 3: Ausbreitung des magnetischen Feldes unter einer Hoch- bzw. Höchstspannungsleitung (mit Donaumasten)

1.4.7. Nicht mögliche Minimierungsaspekte

Für das elektrische Feld und dessen Immissionen ist die Spannung der maßgebliche Aspekt. Da die Spannungsebene jedoch vorgegeben und unveränderbar ist, gilt:

- für das elektrische Feld ist der Faktor der Spannung nicht zu minimieren.

In den Immissionsberechnungen wird das elektrische Feld nicht mit der Nennspannung von 110-kV, sondern mit der Bemessungsspannung von 123-kV berechnet. Die Bemessungsspannung spezifiziert den maximalen Wert der elektrischen Spannung im Normalbetrieb und die Grundlage für die Bemessung aller Betriebsmittel.

1.4.8. Primäre Minimierungsmaßnahmen

Als primäre Minimierungsmaßnahmen werden die Möglichkeiten herangezogen, welche die Grundlage der technischen Planung bilden – den Trassierungsgrundsätzen.

Diese gehen meist über die gesetzlichen Anforderungen wie der technischen Norm (DIN EN 50341) oder beispielsweise auch den Vorgaben aus der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV“ (26. BImSchVVwV) hinaus und umfassen im Wesentlichen:

- Einhaltung eines Mindestbodenabstandes von 8,5 m am niedrigsten Punkt einer 110-kV-Leitung (üblicherweise der unteren Leiterseile in Feldmitte zwischen den Masten)
- Erreichung eines größtmöglichen Abstands durch optimierten Verlauf zwischen Wohnlagen hindurch (nicht für Ersatzneubau durch Wohngebiete anzusetzen)

1.4.9. Sekundäre Minimierungsmaßnahmen

Zusätzlich zu den primären Minimierungsmaßnahmen sind weitere technische Optionen zur Immissionsminimierung möglich.

Auf der geplanten Freileitung werden 2 Stromkreise mit je 3 Phasen als Drehstromsystem und Erdseile, welche vorrangig als Blitzschutz dienen, installiert.

Maßgebliche Faktoren für die Immissionen haben induktive und kapazitive Einwirkungen der einzelnen Phasen eines Drehstromsystems einerseits untereinander, aber auch zum anderen System, sowie gegenüber dem Erdpotential der Erdseile und des umgebenden Geländes. Durch diesen Kapazitäts- und bei Freileitungen höher auftretenden Induktivitätsbelag erhöht sich die Blindleistung, welche beim Betrieb zu kompensieren ist. Für die Verringerung der Blindleistung bzw. zur Blindleistungskompensation sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Leiterquerschnitt: Durch einen hohen Leiterquerschnitt des verwendeten Leiterseiles und zusätzlicher Verwendung von einem 2er-Bündel je Phase treten deutlich weniger Korona-Entladungen auf. Dadurch wird nicht nur der Übertragungsverlust (Blindleistung) minimiert, sondern auch die Geräusche verringert.
- Wichtiger und einflussreicher Aspekt ist weiterhin die Phasenlage, also wie die einzelnen Phasen auf den Masten aufgelegt werden und welcher Einfluss sich daraus hinsichtlich der Immissionen ergibt. Wie diese aussieht und ggf. hergestellt wird, wird im Folgenden näher beschrieben.

Folgende beispielhafte Phasenlagen an verschiedenen Masten (unterschiedlich einsetzbaren Gestängen) sind möglich. Die dabei ungünstige Phasenlage in Bezug auf deren gegenseitigen Einfluss und resultierenden Immissionen ist in rot dargestellt, die günstigste Phasenlage in grün.

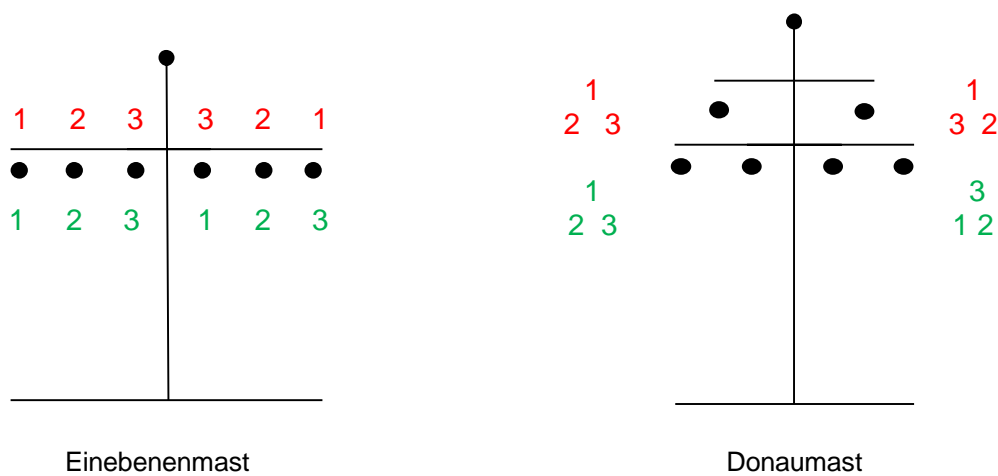
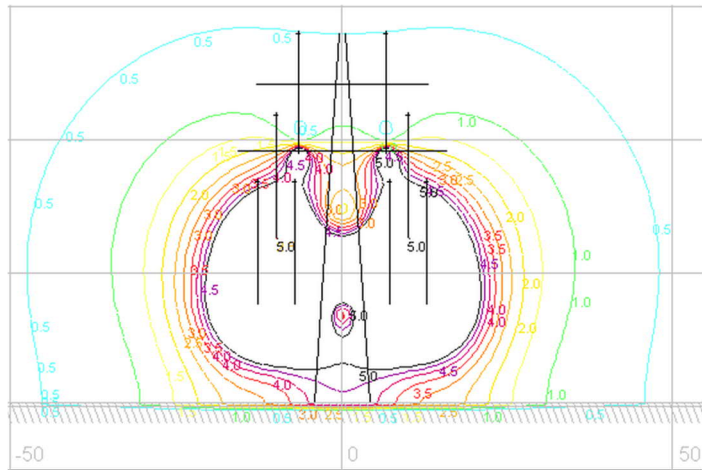
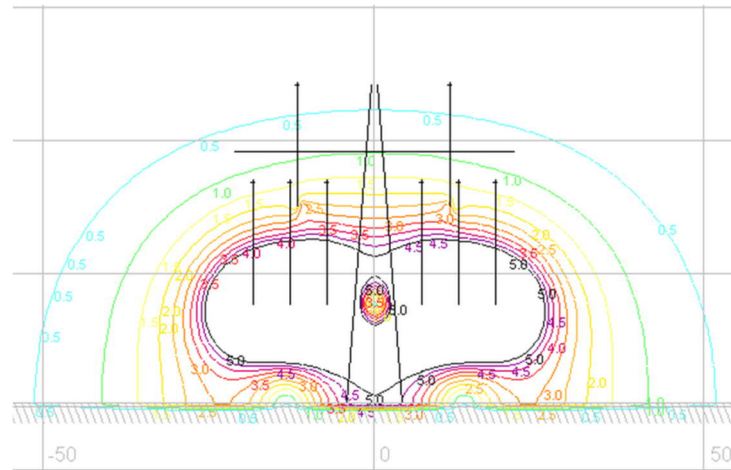


Abbildung 4: schematische Darstellung möglicher Phasenlagen an unterschiedlichen Masttypen

Unter Berücksichtigung dieser optimalen oder günstigen bzw. schlechtesten oder ungünstigsten Phasenlage können die Belastungen für den Regelfall errechnet werden. Die folgenden Grafiken der Abbildungen 5 bis 8 zeigen beispielhaft die Berechnungsergebnisse beim Schnitt quer zur Leitung, mittig im Feld, also am tiefsten Punkt der Leitung. Dabei werden die seitlichen Abstände für das E-Feld bis etwa je 50 m (Höhenlinienabstand jeweils 20 m) und für das B-Feld bis etwa 100 m angezeigt (Höhenlinienabstand jeweils 20 m), sowie die berechneten Werte für das E-Feld in kV/m bzw. für das B-Feld in μT . Die Abgrenzung der einzelnen Stufen wird mittels Isolinien aufgezeigt.

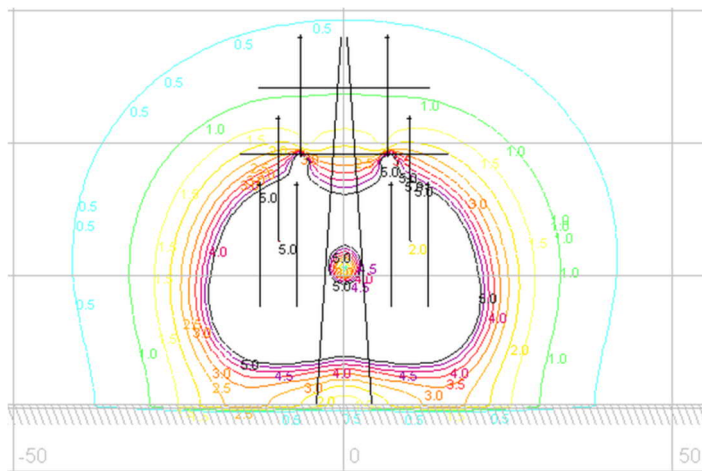


Donaumast

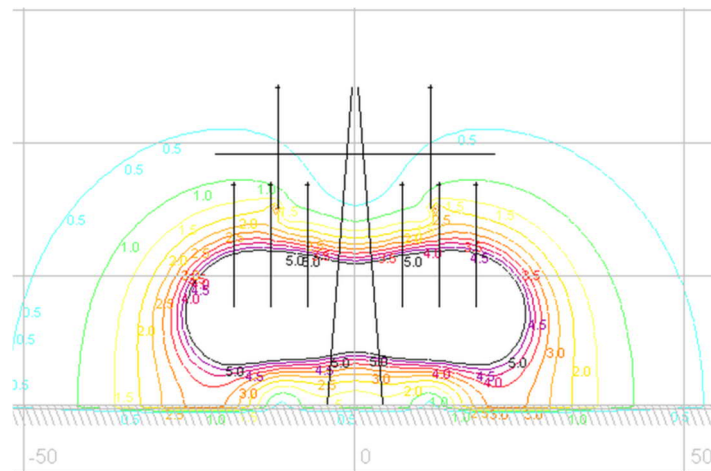


Eibenenmast

Abbildung 5: Darstellung der Immissionen zum **E-Feld** bei **ungünstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen



Donaumast



Eibenenmast

Abbildung 6: Darstellung der Immissionen zum **E-Feld** bei **günstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen

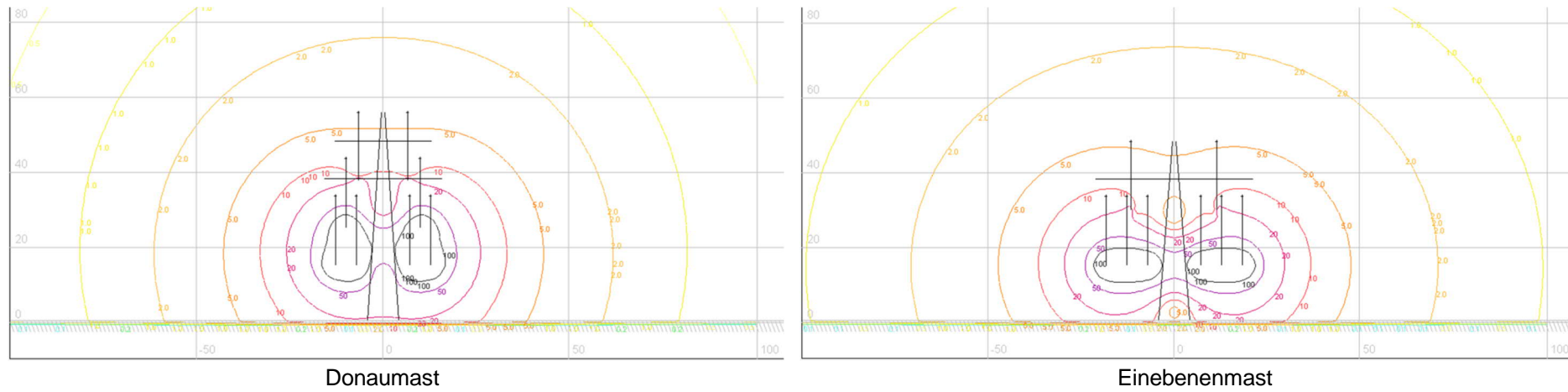


Abbildung 7: Darstellung der Immissionen zum **B-Feld** bei **ungünstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen

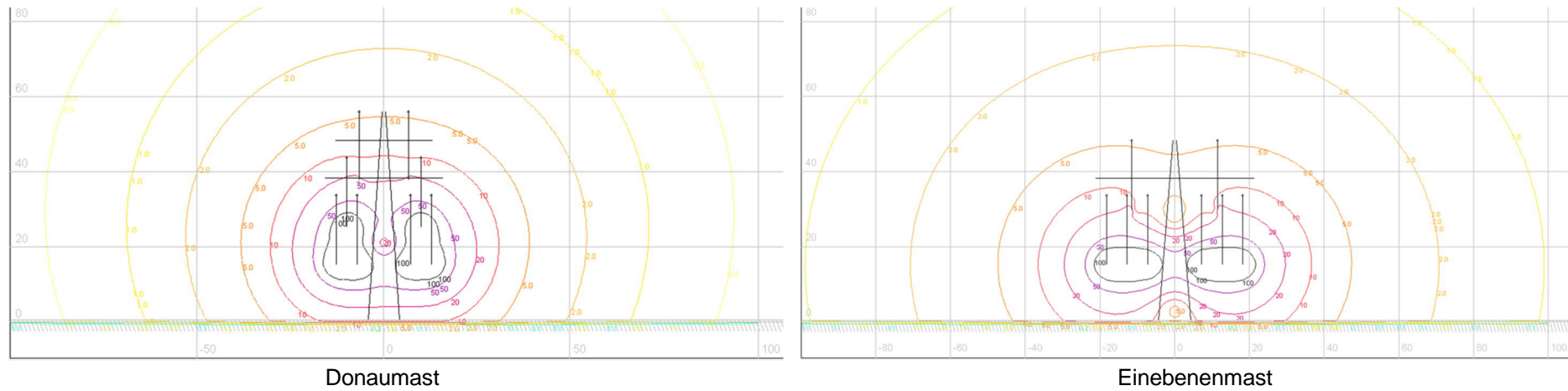


Abbildung 8: Darstellung der Immissionen zum **B-Feld** bei **günstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen

2. Ausgangssituation

2.1. Übersicht der verwendeten Unterlagen

Die technische Grundlage für die Immissionsbetrachtungen bilden die Lage-/Bauwerkspläne aus der Anlage 4.1 dieser Genehmigungsunterlage.

Die Grundlage für die Unterlage der Anlage 4.1 wiederum bildet die seilstatische/leitungstechnische Berechnung aus der Software FIMS 3.2 der EQOS-Energie, aus welcher mittels Datenschnittstelle die Daten ebenfalls direkt in die Immissionsberechnungssoftware WinField der FGEU übernommen wurde. Somit wurden Eingabe und Übertragungsfehler durch händische Einarbeitung bei der Berechnungsgrundlage vermieden.

2.2. Technische Parameter

2.2.1. Parameter der geplanten 110-kV-Leitung

Spannung:	123-kV (Bemessungsspannung)
Stromstärke: (je Stromkreis)	2.216 A (max. Normlast, zur Ausweisung im Planwerk, Anlage M01.2 - M01.4 und zum Nachweis im Verzeichnis, Anlage M01.1 D)
Stromrichtung:	in Richtung aufsteigender Mastnummer
Frequenz:	50 Hz
Phasenbelegung:	optimale Phasenlage (Selbstverpflichtung der Vorhabenträgerin)

Es wurden keine Oberwellenanteile mit einem Vielfachen der Frequenz 50 Hz bei der Bewertung mit in Betracht gezogen, da diese keinen wesentlichen Einfluss ausüben.

Nach DIN EN 50160:2011-02 sollten unter normalen Betriebsbedingungen innerhalb eines beliebigen Wochenintervalls 95 % der 10-Minuten-Mittelwerte des Spannungseffektivwertes jeder einzelnen Oberschwingung kleiner oder gleich den in Tabelle 7 der DIN EN 50160:2011-02 hierfür genannten Anhaltswerten sein.

Die überwiegend zu erwartende Stromrichtung kann aus technischen Gründen bzw. den gegebenen Schwankungen in der Marktsituation nur schwer vorhergesagt werden. Als Worst Case wird daher hier die technische Leitungsrichtung, als Verlauf hin zur nächsthöheren Mastnummer als Stromrichtung angesetzt.

2.2.2. Parameter zu den vorgesehenen Leitern

Die geplante Freileitung verfügt, wie in Abbildung 1 in Kapitel 1.4.1 dargestellt, über 2 Systeme mit je 3 Phasen. Jede Phase wird als Leiterbündel mit 2 Einzelseilen ausgebildet (2er-Bündel).

Als Leiter wird folgendes Seil vorgesehen:

Leiter	Bezeichnung	Querschnitt	Durchmesser	Bündelleiter	Material
1 – 6 Portal UW Hardebek bis Portal Kellinghusen/Nord	565-AL1/72-ST1A (bzw. Al/St 564/72)	636,6 mm ²	32,85 mm	2er-Bündel	Stahlseele, Aluminiummantel

Tabelle 1: Leiterseilparameter

Die Anordnung der Leiter, einschließlich der Bemaßung, ist den Mastsystemskizzen der Planfeststellungsunterlage in Anhang A der Anlage 1 zu entnehmen. Zusätzlich sind für die einzelnen Abschnitte auf den Längenprofilplänen (Anlage 5 der Planfeststellungsunterlage) die im Abschnitt jeweils verwendeten Masttypen als Mastskizze eingetragen.

Zur Übersicht werden hier ebenfalls die Mastgestängetypen aus dem Erläuterungsbericht der Anlage 1 (Kapitel 7.6.2.1) wiedergegeben.

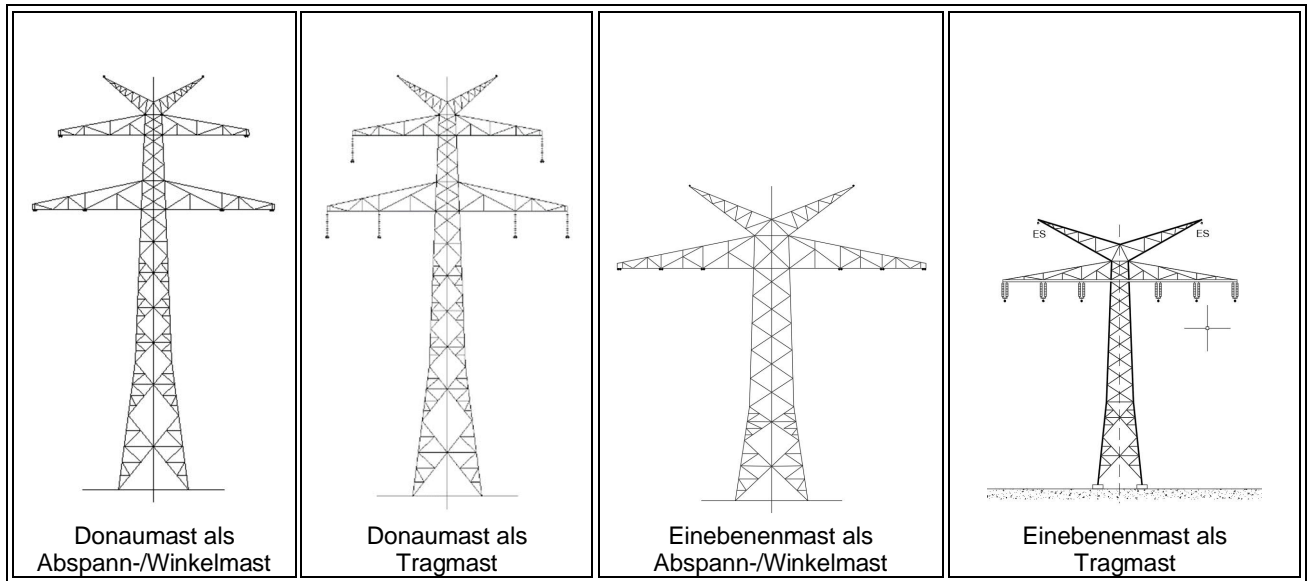


Abbildung 9: Mastbilder des für den Neubau verwendeten Mast-/Gestängetyps

2.2.3. Parameter weiterer zu berücksichtigender Anlagen

In der nachstehenden Tabelle sind weitere in der Berechnung zu berücksichtigende Anlagen aufgeführt. Deren Lage ist aus den Lageplänen der Anlage 4.2 sowie dem Nachweisplanwerk zu den Immissionen aus der Anlage M01.1D zu entnehmen. Der für diese Anlage zu Grunde liegende Auslastungszustand (Worst Case) ist aus den Berechnungsgrundlagen unter M01.1D zu entnehmen.

Anlage	Lage	Art	Verweis, Bemerkung
110-kV-Bahnstromleitung Nenndorf - Neumünster BL577	Mast 6266 - 6259 (in Parallellage zur Planungsleitung im Bereich Mast 23 – 32)	110-kV-Freileitung mit Einebenenmastgestänge	2-systemige Freileitung der DB Energie GmbH

Tabelle 2: zu berücksichtigende Anlagen

Wie bereits in Kapitel 9 des Erläuterungsberichtes genannt sind weitere Niederfrequenzanlagen sowie ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz, die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, die gemäß Anhang 2a der 26. BImSchV entstehen, nicht im Betrachtungsraum vorhanden und zu berücksichtigen.

2.2.4. Benennung nicht zu berücksichtigender Anlagen

Die in der folgenden Tabelle genannten Anlagen wurden mit der entsprechenden Begründung für die Berechnung nicht berücksichtigt:

Anlage	Lage	Art	Begründung der Nichtberücksichtigung
60-kV-Leitung Nr. 00431	Bereich Mast 69 (Raum Hardebek) bis Mast 106, weiterführend Mast 16 bis Mast 47 (Kellinghusen)	60-kV-Freileitung mit Einebenenmastgestänge (1systemig)	Die 60-kV-Leitung stellt die durch Planungsleitung zu ersetzende Leitung dar.

Tabelle 3: nicht zu berücksichtigende Anlagen

2.2.5. Umgebungsbedingungen

Die Topographie ist für den jeweiligen Bereich aus den Lage-/Bauwerksplänen (Anlage 4) und den Längenprofilplänen (Anlage 5) der hier vorliegenden Genehmigungsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren zu entnehmen. Die Topographie wurde, soweit sie zu berücksichtigenden Einfluss auf die zu erwartenden Feldstärken und Flussdichten hat, in der Berechnung berücksichtigt.

Sowohl Bebauung und Bewuchs sind für die Betrachtungsbereiche und speziell im aufgenommenen Schutzbereich der geplanten 110-kV-Leitung den Längenprofilplänen (Anlage 5) zu entnehmen.

Es wird jedoch darauf verwiesen, dass weder die Bebauung noch der Bewuchs für die Ausbreitung der magnetischen Flussdichte eine maßgebliche Rolle spielt, da das Magnetfeld nahezu alle Stoffe ungehindert durchdringt (vgl. Kapitel 1.4.6).

Die schirmende Wirkung des Bewuchses auf das elektrische Feld wird nicht berücksichtigt.

Somit ist als Worst Case angenommen, dass kein Bewuchs vorhanden sei, womit auch die Vegetationswechsel während der verschiedenen Jahreszeiten und jederzeit mögliche Veränderungen des Bewuchses (z.B. Abholzung und Knicken) nicht zu Fehlinterpretationen führen.

3. Kartografische Darstellung

3.1. Übersicht der technischen Unterlagen

Die technische Grundlage, welche auch als Grundlage für die Immissionsbetrachtungen dient, umfasst im Wesentlichen folgende Unterlagenteile in der Planfeststellungunterlage:

- Anlage 01, Erläuterungsbericht
Beschreibung des Bauvorhabens, hier im Speziellen Kapitel 9 zu den Immissionen
- Anlage 01, Anhang A, Mastprinzipzeichnungen
Darstellung der verwendeten Masttypen und deren Abmessungen
- Anlage 02, Übersichtsplan
Darstellung des Trassenverlauf im Maßstab 1:25.000
- Anlage 04, Lage-/Bauwerkspläne
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 und
Darstellung der Leitungsabschnitte über die zurückzubauende Leitung im Maßstab 1:2.000
- Anlage 05, Profilpläne
Querschnitt/Geländeschnitte der einzelnen Leitungsabschnitte im Maßstab 1:200/2.000

3.2. Übersicht der immissionsrechtlichen Unterlagen

Auf Basis der technischen Unterlagen, werden im Zuge der Immissionsbetrachtung folgende Unterlagenteile erstellt. Eine Übersicht stellt das Inhaltsverzeichnis dieses Materialbandkapitels M01 dar. Speziell zur Berechnung der EMF können jedoch folgende in die Planfeststellungunterlage eingestellten Unterlagenteile genannt werden:

- Anlage M01.2, EMF-Planwerk: B-Feld (Magnetische Flussdichte B)
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 auf Grundlage der Lage-/Bauwerkspläne, jedoch mit erweitertem Ausschnitt (doppelte Breite), Eintragung der berechneten Isolinien der magnetischen Felder sowie der zu betrachtenden Immissionsorte
- Anlage M01.3, EMF-Planwerk: E-Feld (Elektrische Feldstärke E)
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 auf Grundlage der Lage-/Bauwerkspläne, jedoch mit erweitertem Ausschnitt (doppelte Breite), Eintragung der berechneten Isolinien der elektrischen Felder sowie der zu betrachtenden Immissionsorte

4. Ermittlung der Immissionen

Zur Ermittlung der Immissionen wurden Berechnungen komplett entlang des geplanten Leitungsverlaufes durchgeführt.

Im Folgenden sind Angaben zur verwendeten Software, Geodaten sowie weitere für Ermittlung und Berechnung wichtige Informationen aufgeführt.

4.1. Verwendete Software

- Produktname: WinField / EFC-400 – Electric and Magnetic Field Calculation
- Hersteller: FGEU mbH, Yorckstraße 60, 10965 Berlin
- Version: V2024 (01.01.2024)
- Unsicherheit: maximal 1,4 %

Weitere Informationen zur Software, sowie die Herstellerzertifikate sind der Anlage M01.1 A zu entnehmen.

4.2. Verwendete Geodaten

- Datenquelle: Airborne-Laserscanning (Befliegung 2022 durch MILAN), sowie terrestrische Vermessungsaufnahmen
- Auflösung: mind. 16 reale Messpunkte/m²
- Genauigkeiten: < +/- 0,10 cm (singulärer Lasermesswert)
- Bezugssystem: ETRS89 (UTM / GRS80)

4.3. Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte

Die Einordnung als maßgebliche Immissionsorte erfolgte nach Ziffer II.3.1 und II. 3.2 der LAI-Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder. Zur Einordnung der Orte als maßgebliche Minimierungsorte wurden §4(1) der 26. BImSchV, 2.11 und 3.2.1.2 der 26. BImSchVVwV berücksichtigt.

In einer ersten pauschalieren Betrachtung konnte bereits im Zuge der Variantenfindung eine deutliche Annäherung an Wohnbebauung vermieden werden und ggf. durch die bestehende und zu ersetzende 60-kV-Freileitung bereits überspannte Wohnannäherungsbereiche mit der neuen Planung eine maßgebliche Verbesserung erreicht werden. Obwohl durch die aus der Abwägung ergehende Vorzugsvariante nunmehr keine Planungshindernisse für eine Trassierung vorliegen und weitergehende Betrachtungen prinzipiell nicht erforderlich wären, wird der Gesamtkorridor gemäß des nach 26. BImSchVVwV vorgegebenen Einwirkbereichs von 200 m hin untersucht.

4.4. Bewertungsabstand und Einwirkbereich

Die maßgeblichen Immissionsorte wurden innerhalb der in II.3.1 der LAI-Durchführungshinweise angegebenen Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens von hier 10 Metern ermittelt.

Die maßgeblichen Minimierungsorte wurden innerhalb der in der 26. BImSchVVwV festgelegten Einwirkungsbereiche von hier 200 Metern ermittelt. Die in der 26. BImSchVVwV festgelegten Bewertungsabstände von hier 10 Metern wurden ebenfalls beachtet.

4.5. Maßgebliche Immissions- und Minimierungsorte

Für maßgebliche Immissionsorte wurden die Flussdichten- und Feldstärkewerte durch Berechnungen ermittelt und in das Verzeichnis der Immissionsorte (Auflistung der Immissionsorte und der prognostizierten Immissionen) in der Anlage M01.1 D übernommen.

Die Klassifizierung der Immissionsorte erfolgte über das ATKIS, sowie einer vor-Ort-Betrachtung über die reale bzw. eine ggf. abweichende Nutzungsart.

Die Lage der einzelnen maßgeblichen Immissions- und Minimierungsorte kann den Lageplänen (EMF-Planwerk unter Anlage M01.2 und M01.3) entnommen werden. Die Koordinaten der Maste sind aus dem Koordinatenverzeichnis in der Anlage 7.4 der Planfeststellungsunterlage zu entnehmen.

4.6. Oberwellenanteile

Nach 26. BImSchV §3 müssen alle Immission einer Niederfrequenzanlage berücksichtigt werden. Dies schließt auch Oberwellenanteile (z.B. 150 Hz, 250 Hz) mit ein, wie sie z.B. durch Schaltnetzteile oder Wechselrichter erzeugt werden.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 angegeben, ergeben sich hierdurch keine zu berücksichtigenden Anlagenteile.

5. Ergebnisse

Dieser Abschnitt ist entsprechend der einzelnen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder aufgebaut. Zunächst werden die Ergebnisse im Hinblick auf die einzuhaltenden Grenzwerte dargelegt (§§ 3 Abs. 2, 3a Satz 1 Nr. 1 26. BImSchV i.V.m. Anhang 1a 26. BImSchV). Hierbei werden auch Aussagen zu Immissionsbeiträgen zu berücksichtigender anderer Anlagen getroffen (§§ 3 Abs. 3, 3a Satz 2 26. BImSchV i.V.m. Anhang 2a 26. BImSchV). Es folgen Aussagen zur Beachtung des Überspannungsverbots (§ 4 Abs. 3 26. BImSchV), zur Beachtung des Gebots zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden (§§ 3 Abs. 4, 3a Satz 1 Nr. 2 26. BImSchV) und zu Raumladungswolken. Danach werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Beachtung des Minimierungsgebots dargelegt (§ 4 Abs. 2 26. BImSchV i.V.m. 26. BImSchVVwV).

5.1. Grenzwerteinhaltung

An allen maßgeblichen Immissionsorten mit der voraussichtlich stärksten Exposition werden die Grenzwerte eingehalten.

In der tabellarischen Aufstellung der Anlage M01.1 D sind alle maßgeblichen Immissionsorte mit der voraussichtlich stärksten Exposition und die hierfür ermittelten Feldstärken aufgeführt. Daten aus Messungen wurden auf die höchste betriebliche Anlagenauslastung sowie dem Ausnahmefall (n-1-Lastfall) hochgerechnet. Immissionsbeiträge anderer Anlagen wurden mit berücksichtigt.

Dadurch ist die Genehmigungsfähigkeit der Anlage hergestellt.

Die Grenzwertbedingungen der Summenbetrachtung von Immissionsbeiträgen nach § 3 Abs. 3 gemäß Anhang 2a 26. BImSchV und Ziffer II.3.4 LAI sind erfüllt bzw. eingehalten. An allen übrigen maßgeblichen Immissionsorten werden die Grenzwerte ebenfalls eingehalten (Erst-Recht-Schluss).

5.2. Überspannungsverbot für Höchstspannungsfreileitungen

Das Überspannungsverbot für in neuer Trasse errichtete Niederfrequenzleitungen mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Nennspannung von 220 kV oder mehr (§ 4 Abs. 3 26. BImSchV) ist für die hier beantragte Freileitung nicht maßgebend, da es sich um die hier beantragte Freileitung um eine 110-kV-Leitung (Hochspannung) handelt.

5.3. Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden

Wirkungen wie Funkenentladungen auch zwischen Personen und leitfähigen Objekten, die zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können (§§ 3 Abs. 4, 3a Satz 1 Nr. 2 26. BImSchV), werden vermieden.

Die Vermeidung von direkten Einwirkungen des elektrischen Stromes oder der Netzspannung auf Menschen (z. B. Körperdurchströmungen) wird durch die Einhaltung der gültigen Vorschriften für Bau und Betrieb einer elektrischen Anlage gewährleistet (z. B. deutsche DIN VDE Vorschriften, europäischen EN-Vorschriften). Durch die Einhaltung dieser Vorschriften werden Abstandsbereiche geschaffen, durch welche unbefugte und nicht elektrotechnisch unterwiesene Personen nicht in den Gefahrenbereich einer solchen Anlage gelangen können. Alle Anlagen der SH Netz weisen diese normkonformen Abstandsbereiche aus, so dass Schäden durch direkte Einwirkungen auf Menschen sicher ausgeschlossen werden können.

Belästigungen können durch indirekte Einwirkungen elektrischer und/oder magnetischer Felder erfolgen. Hierunter versteht man Funkenentladungen bzw. Elektrisierereffekte, welche unter bestimmten Bedingungen zwischen elektrischer Anlage und Menschen entstehen können. Bei der hier zur

Planfeststellung anstehenden 110-kV-Leitung ist allerdings die hierfür ursächliche elektrische Feldstärke an Orten, wo sich Menschen bestimmungsgemäß aufhalten können, weit unterhalb jener Feldstärke, wo solche Effekte auftreten können. Die elektrische Feldstärke beträgt im Einwirkungsbereich am Immissionsort der höchsten elektrischen Feldstärke maximal ca. 1 kV/m, unter Berücksichtigung der maximalen Normlastbetriebes (siehe hierzu tabellarische Aufstellung in Anlage M01.1 D). Meistens ist die elektrische Feldstärke jedoch wesentlich kleiner. Für die Entstehung von Funkentladungen bzw. Elektrisierereffekten sind deutlich höhere elektrische Feldstärken notwendig.

5.4. Raumentladungswolken

Raumentladungswolken sind die Folge von Korona (Teilentladungen zwischen spannungsführendem Leiterseil einer Freileitung und der das Leiterseil umgebenden, isolierenden Luft). Korona, also das Entstehen von Teilentladungen, bedingt eine hohe elektrische Randfeldstärke direkt am spannungsführenden Leiterseil (ab ca. 30 kV/cm). Da die Randfeldstärke bei der zur Genehmigung hier vorliegenden Leitung kleiner ist, treten derartige Koronaerscheinungen bei der Anlage nicht in dem erforderlichen Maße auf. Insofern bilden sich auch keine Raumentladungswolken. Wo keine Raumentladungswolken existieren, also keine ionisierte Luft, kann folglich auch keine Aerosolbildung entstehen.

5.5. Minimierungsgebot

Das Minimierungsgebot für neu errichtete oder wesentlich geänderte Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (§ 4 Abs. 2 26. BImSchV i.V.m. 26. BImSchVVwV) wird beachtet und wurde bereits im Zuge der Variantenbewertung (vgl. Anhang 2 zum Erläuterungsbericht in Anlage 1 der Planfeststellungsunterlage) berücksichtigt. Die wesentlichen in der Variantenbewertung angewendeten Maßnahmen zur Minimierung wurden auch oben in Kapitel 1.4.7 bis 1.4.9 kurz genannt.

5.6. Darstellung der Berechnungsergebnisse

Wie in Kapitel 3.2 genannt, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in grafischer Form in der Anlage M01.2 und M01.3. Die tabellarischen Ergebnisse sind aus der Anlage M01.1 D ersichtlich.

6. Qualität

6.1. Bestätigung der Richtigkeit aller Angaben

Hiermit wird die Richtigkeit aller Angaben bestätigt. Die Versionsnummer und für die Bearbeitung beteiligte und verantwortliche Personen ergeben aus dem Kapitel 1.1.

6.2. Angaben zu Berechnungsunsicherheiten

In der folgenden Tabelle sind alle Unsicherheiten aufgeführt. Die Unsicherheiten in der Berechnung und den Geo- und Anlagendaten liegen als Gesamtunsicherheit bei maximal 5%.

Häufige Fehlerquellen durch Datenübertragungen aus/in verschiedene Softwareprodukte sind durch eine konsequente Bearbeitung der trassierungstechnischen Grunddaten und der Berechnungsdaten in nur zwei Softwareprodukten und den gegebenen direkten Datenaustausch unter den Softwareprodukten weitestgehend ausgeschlossen.

Softwareprodukt	Bearbeitung	Unsicherheit
FIMS 3.2	<ul style="list-style-type: none">• Grunddatenimport• Auswertung der Laserdaten• Leitungstrassierung• Schnittstelle nach WinField	<ul style="list-style-type: none">• < +/- 10 cm aus der Befliegung• Keine• Keine• Keine
WinField	<ul style="list-style-type: none">• Eingabe Anlagendaten• Berechnung der Immissionen• Export der Ergebnisse in das Planwerk	<ul style="list-style-type: none">• Maximal 3 %• Maximal 1,4 %• Keine
Gesamtunsicherheit		Maximal 5 %

Tabelle 4: Zusammenstellung der Unsicherheiten

6.3. Schwierigkeiten in der Erstellung der Untersuchung

Bei der Berechnung der Immissionen konnten alle Daten der zur Erstellung einer aussagekräftigen Berechnung ermittelt werden. Es mussten keine Ersatzwerte anhand vergleichbarer Anlagen bestimmt werden, wodurch in der Immissionsbewertung keine zusätzlich Faktoren als Sicherheitsmarge berücksichtigt werden müssen.

7. Fazit

In dieser Untersuchung wurden die zu erwartenden Immissionen durch elektrische und magnetische Felder im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das Vorhaben der 110-kV-Leitung Hardebek – Kellinghusen/Nord Nr. LH 13-186 ermittelt.

Es wurde dargelegt, dass alle maßgeblichen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder, einschließlich zu berücksichtigender Unsicherheiten, eingehalten werden. An allen maßgeblichen Immissionsorten werden die Grenzwerte eingehalten. Die sonstigen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben, also das Gebot zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden und das Minimierungsgebot, werden beachtet.

8. Glossar

Selbst wenn in einzelnen Themenbereichen der Planfeststellungsunterlage bereits beschrieben, erfolgt hier ggf. erneut die Beschreibung der wesentlichen Fachbegriffe.

A	Ampere (elektrischer Strom)
Abspannabschnitt	Leitungsabschnitt zwischen zwei Winkelabspannmasten (WA) bzw. Winkelendmasten (WE)
Abspannmast	An Abspann- bzw. Endmasten werden die Leiter an Abspannketten befestigt, die die resultierenden bzw. einseitigen Leiterzugkräfte auf den Stützpunkt übertragen und damit Festpunkte in der Leitung bilden
Betriebsmittel	allgemeine Bezeichnung von betrieblichen Einrichtungen in einem Netz
BlmSchG	Bundes-Immissions-Schutz-Gesetz
BlmSchV	Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung
BlmSchVVwV	Allgemeine Verwaltungsverordnung zur Durchführung der BlmSchV
Bündelleiter	Leiter, der aus mehreren Teilleitern besteht
dB(A)	Geräuschpegel A - bewertet
Drehstromsystem	ein aus drei gleich großen um 120° verschobenen Spannungen und Strömen gebildetes Wechselstromsystem
EMF	Elektrische und magnetische Felder
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EOK	Erdoberkante
Freileitung	Je nach Funktion der Maste unterscheidet man zwischen Trag- und Abspannmasten. Drehstromsysteme sind stets Dreileitersysteme. Als Isolatoren werden Hängeisolatoren verwendet, als Maste meistens Stahlfachwerkmaste (Gittermaste). Ein Erdseil wird für den Blitzschutz verwendet. Die Praxis einer nachträglichen Installation einzelner Stromkreise ist weit verbreitet.
Gestänge	Fachbegriff für Tragwerk
Hochspannung	Spannungsbereich von 60 bis 110kV
Höchstspannung	Spannungsbereich von 220kV und höher
ICNIRP	Internationale Strahlenschutzkommission für nicht ionisierende Strahlung
Koronaentladung	Teildurchschläge in der Luftisolierung bei Freileitungen
Leiteseil	seilförmiger Leiter
Netz	System von zusammenhängenden Einrichtungen (Leitungen, Umspannwerke) zur Übertragung von elektrischer Energie
(n-1)-Kriterium	Anforderung an das Übertragungsnetz zur Beurteilung der Netz- und Versorgungssicherheit. Beinhaltet ein Netzbereich eine bestimmte Anzahl (n) von Betriebsmitteln, so darf ein beliebiges Betriebsmittel ausfallen, ohne dass es zu dauerhaften Grenzwertverletzungen bei den verbleibenden Betriebsmitteln kommt, dauerhafte Versorgungsunterbrechungen entstehen, eine Gefahr der Störungsausweitung besteht oder eine Übertragung unterbrochen werden muss.
Querträger	seitliche Ausleger (Traverse) an einem Mast zur Befestigung der Leiter
Spannfeld	Leitungsbereich zwischen zwei Masten
Stromkreis	Einzelne elektrische Verbindung zweier Umspannwerke, baulich bestehend aus einem System einer Leitung und Schaltfeldern in den Umspannwerken
System	Drei zusammengehörige voneinander und der Umgebung isolierte Leiter zur Übertragung von Drehstrom
µT	Mikrotesla (1/1.000.000 Tesla), Einheit der magnetischen Flussdichte

Tragmast	Tragmaste tragen die Leiter (Tragketten) bei geradem Verlauf. Sie übernehmen im Normalbetrieb keine Zugkräfte
TA Lärm	Technische Anleitung Lärm
Traverse	siehe Querträger.
Umspannwerk	Hochspannungsanlage mit Transformatoren zum Verbinden von Netzen verschiedener Spannungen
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UW	Umspannwerk
V	Volt (Einheit der elektrischen Spannung)
kV	Kilovolt (1.000V)
kV/m	Einheit der elektrischen Feldstärke
VA	Voltampere (Einheit der Blind- oder Scheinleistung)
MVA	Megavoltampere (1.000.000VA), Einheit für Schein- und Blindleistung
2-systemig	Leitung mit zwei Drehstromsystemen zu je drei Leitern

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau/Beseilung eines Freileitungsmastes (Donaumast)	6
Abbildung 2: Darstellung eines magnetischen Feldes unter einer Hochspannungsleitung (mit Donaumasten)	8
Abbildung 3: Ausbreitung des magnetischen Feldes unter einer Hoch- bzw. Höchstspannungsleitung (mit Donaumasten)	9
Abbildung 4: schematische Darstellung möglicher Phasenlagen an unterschiedlichen Masttypen	10
Abbildung 5: Darstellung der Immissionen zum E-Feld bei ungünstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen	11
Abbildung 6: Darstellung der Immissionen zum E-Feld bei günstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen	11
Abbildung 7: Darstellung der Immissionen zum B-Feld bei ungünstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen	12
Abbildung 8: Darstellung der Immissionen zum B-Feld bei günstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen	12
Abbildung 9: Mastbilder des für den Neubau verwendeten Mast-/Gestängetyps	14

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Leiterseilparameter	13
Tabelle 2: zu berücksichtigende Anlagen	14
Tabelle 3: nicht zu berücksichtigende Anlagen	14
Tabelle 4: Zusammenstellung der Unsicherheiten	21