

Immissionsschutzbericht

Nr. B 0001

zur Prognose elektrischer und magnetischer Feldimmissionen,
deren Reduzierung im geplanten Vorhaben

Unsere Zeichen A-PI/AW DIS700459963
Dokument B0001 UA Merzen.docx
Dieses Dokument besteht
aus 39 Seiten.
Datum 11.11.2019

Leitungseinführung in die Umspannanlage Merzen

mit Änderungen an den bestehenden Freileitungen

Seite 1 von 39

- 110-/220-/380-kV-Hochspannungsfreileitung Bl. 4132
Pkt. Merzen – Westerkappeln
- 380-kV-Hochspannungsfreileitung Bl. 4583
Hanekenfähr – Pkt. Merzen
- 380-kV-Hochspannungsfreileitung Bl. 4584
Pkt. Merzen – Wehrendorf

Amprion GmbH
Immissionsmanagement Leitungen
Robert-Schuman-Straße 7
44263 Dortmund
Germany

T +49 231 5849-0
F +49 231 5849-14188
www.amprion.net

Aufsichtsratsvorsitzender:
Heinz-Werner Ufer

Geschäftsführung:
Dr. Hans-Jürgen Brick
Dr. Klaus Kleinekorte

Sitz der Gesellschaft:
Dortmund
Eingetragen beim
Amtsgericht Dortmund
Handelsregister-Nr.
HR B 15940

Bankverbindung:
Commerzbank AG Dortmund
IBAN: DE27 4404 0037 0352 0087 00
BIC: COBADEFFXXX
USt.-IdNr. DE 8137 61 356

und erforderlicher Provisorien für die Errichtung.

Erstellt durch: Amprion GmbH
Robert-Schuman-Straße 7
44263 Dortmund
Deutschland

Ausgestellt am: 11. November 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einführender Teil	4
2	Grundlagen.....	6
2.1	Rechtsgrundlagen	6
2.2	Fachkunde	6
2.3	Physikalische Grundlagen	6
2.3.1	Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen.....	6
2.3.2	Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen.....	7
2.4	Anforderungen der 26. BImSchV an Niederfrequenzanlagen	7
2.5	Methodik.....	9
3	Anlagenbeschreibung	11
3.1	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132	11
3.2	Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583	11
3.3	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584	12
3.4	Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien.....	12
4	Schutzanforderungen an Niederfrequenzanlagen.....	14
4.1	Einhaltung der Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen (1 Hz bis 9 kHz) an Orten des nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen.....	14
4.1.1	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132	15
4.1.2	Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583	16
4.1.3	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584	16
4.1.4	Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien.....	16
4.1.5	Zusammenfassung.....	17
4.2	Berücksichtigung von Hochfrequenzanlagen (9 kHz bis 10 MHz)	18
4.3	Vermeidung von Funkenentladungen	19
5	Vorsorgeanforderungen an Niederfrequenzanlagen	20
5.1	Maßgebliche Minimierungsorte.....	21
5.1.1	Maßgebliche Minimierungsorte und Bezugspunkte	22
5.1.2	Individuelle maßgebliche Minimierungsorte	22
5.2	Allgemeine Minimierungsprüfung.....	22
5.2.1	Technisch/elektrische Abschnitte.....	22
5.2.2	Abstandsoptimierung durch Erhöhung der Bodenabstände	22
5.2.3	Elektrische Schirmung.....	23
5.2.4	Minimierung der Seilabstände	24
5.2.5	Optimierung der Mastkopfgeometrie.....	24
5.2.6	Optimieren der Leiteranordnung.....	25
5.3	Betrachtung individueller, maßgeblicher Minimierungsorte	26
5.3.1	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132	26

Seite 3 von 39

5.3.2	Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583	27
5.3.3	Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584	27
5.3.4	Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien	27
5.4	Überspannungen von Wohngebäuden	28
6	Sekundäre Emissionen durch elektrische Felder	29
6.1	Betriebsbedingte Schallemissionen	29
6.2	Störungen und Funkfrequenzen	29
6.3	Ozon und Stickoxide.....	30
7	Zusammenfassung	31
	Appendix	32
A	Technische Daten.....	32
A.1	Spannungsbänder gem. DIN EN 50160.....	32
A.2	Elektrische Seilkenngößen	32
A.3	Isolatorketten.....	32
A.4	Leiteseilanordnungen	33
A.4.1	Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132 33	
A.4.2	Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583 .	34
A.4.3	Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584 ...	34
A.4.4	Datenblatt der temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien	35
B	Verzeichnisse	36
B.1	Fachliteratur und Normen	36
B.2	Abbildungen	37
B.3	Tabellen	37
B.4	Abkürzungen	37
B.5	Formelzeichen.....	38

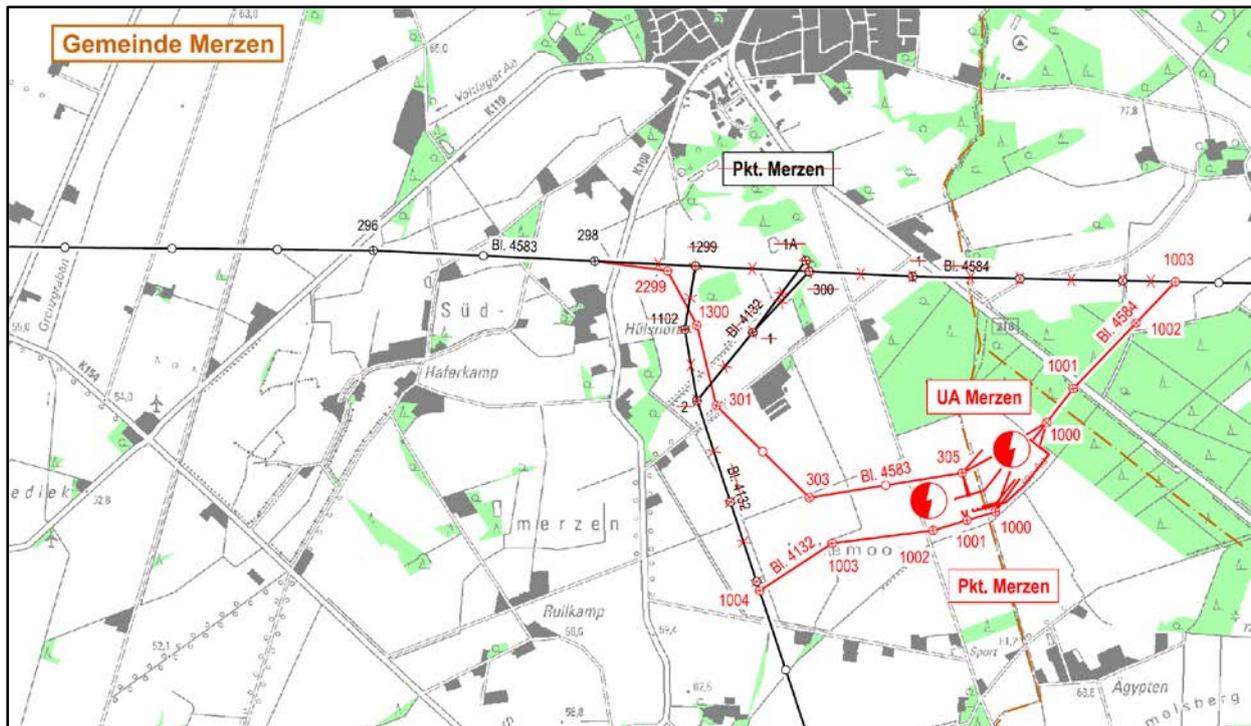


Abbildung 1: Darstellung des Planungsbereichs des Vorhabens Leitungseinführung UA Merzen (Auszug aus Anlage 2, Blatt 1 der Planfeststellungsunterlage)

1 Einführender Teil

Die Amprion GmbH plant die Änderung der Leitungsführung im Bereich des Punkt Merzen zur Einbindung einer geplanten Umspannanlage Merzen in das bestehende Übertragungsnetz. Die Planung betrifft die bestehenden Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen

- Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132
- Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583
- Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584

sowie zur Bauausführung notwendige Freileitungs- und Baueinsatzkabelprovisorien. Der Bereich des Vorhabens ist in Abbildung 1 dargestellt. Detaillierte kartografische Darstellungen der geplanten Trassen sind den Anlagen 2, 7 und 11.4 zum Planfeststellungsantrags zu entnehmen. Die Änderungen der Leitungsführung betreffen den Bereich zwischen den bestehenden Masten Nr. 298 der Freileitung Bl. 4583 im Osten, Nr. 4 der Bl. 4584 im Westen und Nr. 5 der Bl. 4132 Süden. Bestehende Masten in diesem Bereich werden zum Teil ersetzt oder entfallen. Weiterhin sind Arbeiten an bestehenden, anschließenden Abspannabschnitten notwendig. Näheres ist dem Erläuterungsbericht (Anlage 1) zum Planfeststellungsantrag zu entnehmen.

Das Vorhaben umfasst Änderungen an Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen sowie Freileitungs- und Baueinsatzkabelprovisorien mit einer Netzfrequenz von 50 Hz und einer Nennspan-

Seite 5 von 39

nung größer 1 kV. Sie sind gem. § 4 Abs. 1 BImSchG i.V.m. der 4. BImSchV nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen. Dennoch sind insbesondere die Betreiberpflichten nach § 22 BImSchG zu beachten. Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen sowie Freileitungs- und Baueinsatzkabelprovisorien mit einer Netzfrequenz von 50 Hz und einer Nennspannung größer 1 kV stellen Niederfrequenzanlagen gem. § 1 Abs. 2 der 26. BImSchV dar. Im Folgenden werden die im Rahmen der Änderung der Leitungsführung zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder rechnerisch prognostiziert und die Zulässigkeit des Vorhabens bezüglich der Anforderungen der 26. BImSchV untersucht.

2 Grundlagen

2.1 Rechtsgrundlagen

- *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)* vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432)
- *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)* in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. IS. 3266)
- *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)* vom 26. Februar 2016 (BAnz AT 03.03.2016 B5)
- *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder* mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut
- *Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz), 1999/519/EG*

2.2 Fachkunde

Die Unterzeichnenden sind aufgrund ihrer Ausbildung und jahrelangen Berufserfahrung im Bereich des Immissionsschutzes für elektrische und magnetische Felder von Hoch- und Höchstspannungsanlagen als Fachkundige des Unternehmens Amprion GmbH benannt.

2.3 Physikalische Grundlagen

Beim Betrieb von Höchstspannungsfreileitungen treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf. Sie entstehen in unmittelbarer Nähe von spannungs- bzw. stromführenden Leitern. Die Feldstärken lassen sich messen und berechnen. Elektrische und magnetische Felder bei Niederfrequenz wie der Energieversorgung sind voneinander entkoppelt und werden daher getrennt in quasistationärer Näherung betrachtet. Ebenso sind etwaige Niederfrequenzanlagen zunächst nach Betriebsfrequenzen getrennt zu betrachten und die jeweilige prozentuale Grenzwertausschöpfung zu ermitteln. Die Summe der Grenzwertausschöpfungen aller Frequenzen zwischen 1 darf sowohl für das elektrische als auch das magnetische Felder 100 % nicht übersteigen.

2.3.1 Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen

Ursache elektrischer Felder sind spannungsführende Leiter in elektrischen Betriebsmitteln und Leitungen zur elektrischen Energieversorgung. Das elektrische Feld tritt immer schon dann auf, wenn elektrische Energie bereitgestellt wird. Es resultiert aus der Betriebsspannung einer Leitung

Seite 7 von 39

und ist deshalb nahezu konstant. Das elektrische Feld ist unabhängig von der Stromstärke. Es wechselt mit der Frequenz der Spannung, mit 50 Hertz (Hz) im Fall von Leitungen der Energieversorgung, ebenfalls seine Richtung.

Die Stärke des elektrischen Feldes ist abhängig von der Nähe zum Leiterseil. Bei ebenem Gelände ist zwischen zwei Masten der Durchhang des Leiterseils in der Spannfeldmitte am größten und daher der Abstand zum Erdboden am geringsten. Daher sind in Spannfeldmitte die Feldstärken am Erdboden am größten. Entsprechend sind in der Nähe von Masten die Feldstärken am geringsten. Noch ausgeprägter sinkt die Feldstärke mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Freileitung.

Das elektrische Feld wird durch leitfähige Gegenstände wie Bäume, Büsche oder Bauwerke beeinflusst. Daher können niederfrequente elektrische Felder relativ leicht und nahezu vollständig abgeschirmt werden. Nach dem Prinzip des Faraday'schen Käfigs ist das Innere eines leitfähigen Körpers feldfrei. Die meisten Baustoffe sind ausreichend leitfähig und schirmen ein von außen wirkendes elektrisches Feld fast vollständig im Inneren eines Gebäudes ab.

Die zu betrachtende physikalische Größe ist die elektrische Feldstärke E . Sie wird für Hochspannungsanlagen in Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

2.3.2 Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen

Magnetische Felder treten nur dann auf, wenn elektrischer Strom fließt. Der Betriebsstrom, der durch die Leiterseile fließt, ist im Gegensatz zur Spannung nicht konstant. Er schwankt je nach Last tageszeiten-, jahreszeiten- und witterungsabhängig. Im gleichen Verhältnis der Stromänderung ändert sich die Stärke des Magnetfeldes.

Wie für elektrische Felder gilt auch für magnetische Felder, dass am Erdboden die Feldstärken dort am höchsten sind, wo die Leiterseile dem Boden am nächsten sind, also bei ebenem Gelände in der Mitte zwischen zwei Masten. Mit zunehmender Höhe der Leiterseile und mit zunehmendem seitlichem Abstand nimmt die Feldstärke schnell ab.

Das Magnetfeld kann im Gegensatz zum elektrischen Feld nur durch spezielle Werkstoffe beeinflusst werden. Übliche Baustoffe schirmen ein 50-Hz-Magnetfeld nicht ab.

Die zu betrachtende physikalische Größe ist die magnetische Flussdichte B . Sie wird in Mikrottesla (μT) angegeben.

2.4 Anforderungen der 26. BImSchV an Niederfrequenzanlagen

Die Festlegung von Grenzwerten zur Schutz der Bevölkerung obliegt dem Gesetzgeber. Die Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische und magnetische Felder sind in der sechsundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) geregelt. Die Vorgaben beruhen auf Empfehlungen eines von der Weltgesundheitsorganisation anerkannten wissenschaftlichen Gremiums, der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP), und spiegeln den aktuellen Stand der Forschung bezüglich möglicher Wirkungen durch Felder auf den Menschen

Seite 8 von 39

wieder. Im deutschen Recht sind die geltenden Grenzwerte in der 26. BImSchV verbindlich festgelegt. Diese Verordnung ist für Hochspannungsfreileitungen anzuwenden. Nach § 3 Abs. 2 S. 1 der 26. BImSchV sind diese so zu errichten und zu betreiben, dass sie bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, die im Anhang 1a der 26. BImSchV genannten Grenzwerte nicht überschreiten, wobei Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hertz die Hälfte des in Anhang 1a der 26. BImSchV genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten dürfen. Die dort festgelegten Grenzwerte betragen 5 kV/m für die elektrische Feldstärke und 100 µT für die magnetische Flussdichte.

Die Immissionswert $W(f)$ der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten aller Niederfrequenz- und ortfesten Hochfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 1 Hz bis 10 MHz sind nach Frequenzkomponenten getrennt zu bestimmen und mit dem jeweiligen Grenzwert $G(f)$ zu gewichten. Ihre nach Anhang 2a der 26. BImSchV gewichteten Summen müssen getrennt für das elektrische und das magnetische Feld folgende Bedingung erfüllen:

$$\sum_{f=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{W(f)}{G(f)} \leq 1$$

Entsprechend der §§ 3 und 4 der 26. BImSchV dürfen für Neuanlagen in Bereichen, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind, die vorgenannten Werte nicht überschritten werden. Für bestimmte Altanlagen gelten spezifische Sonderregelungen für kurzzeitige und kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte.

Für die Bewertung, ob die Anforderungen der 26. BImSchV erfüllt werden, sind gemäß § 3 Abs. 2, der 26. BImSchV im Einwirkungsbereich¹ der Niederfrequenzanlage gemäß Punkt II.3.1 der LAI-Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV maßgebliche Immissionsorte an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, zu ermitteln.

Bei 380-kV-Freileitungen beträgt die Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens 20 m. Dieser Bereich von 20 m zu beiden Seiten, der Einwirkungsbereich, wird auf maßgebliche Immissionsorte überprüft. Orte die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, sind Gebäude und Grundstücke, in oder auf denen nach der bestimmungsgemäßen Nutzung Personen regelmäßig länger – mehrere Stunden – verweilen können. Als solche kommen gem. den LAI-Hinweisen insbesondere Wohngebäude, Krankenhäuser, Schulen, Schulhöfe, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze und Kleingärten in Betracht.

Untersucht wurden daher in diesem Projekt die im Sinne des § 3 Absatz 2 Satz 1 der 26. BImSchV und Punkt II.3 der LAI-Hinweise maßgebenden Immissionsorte innerhalb der Bereiche bis

¹ „Der Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage beschreibt den Bereich, in dem die Anlage einen signifikanten von der Hintergrundbelastung abhebenden Immissionsbeitrag verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind (siehe II.3.2) und sich im unten genannten Bereich einer Anlage befinden“.

Seite 9 von 39

zu 20 m vom ruhenden äußeren Leiterseil. Für die innerhalb dieser Bereiche liegenden maßgebenden Immissionsorte wurden die elektrischen Felder und die magnetische Flussdichte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung im geplanten Endausbau und unter Berücksichtigung anderer vorhandener Niederfrequenzanlagen untersucht.

2.5 Methodik

Elektrische und magnetische Felder lassen sich mit den Gleichungen der klassischen Elektrodynamik sicher berechnen [1, 2, 3]. In Einklang mit den Regelungen des § 5 der 26. BImSchV erfolgt die Ermittlung der durch die geplante Anlage emittierte elektrischen Feldstärke und magnetische Flussdichte daher rechnerisch. Grundlage der Berechnung sind die im Anhang aufgeführten Datenblätter. Dazu wurden die Spannfelder ausgewählt, an denen die höchsten Immissionswerte zu erwarten sind. Diese wurden sodann digital nachgebildet und in die Software *WinField* der FGEU mbH übertragen.

Die Software berechnet die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte jeweils in quasistationärer Näherung. Zur Berechnung der elektrischen Feldstärke implementiert die Software die Methode der Spiegelladung [1, 2, 3, 4], für die Berechnung der magnetischen Flussdichte wird das Ampère'sche Gesetz ausgewertet [1, 4]. Die verwendeten Methoden entsprechen den in der DIN EN 50413 spezifizierten Anforderungen für Berechnungen [5].

In den Berechnungen werden die Immissionen der Betriebsfrequenz 50 Hz ermittelt. Oberwellenanteile bei harmonischen Frequenzen (Vielfache der Grundfrequenz: 100 Hz, 150 Hz und höher) sind in Hoch- und Höchstspannungsnetzen sehr gering. Deren Immissionsbeitrag ist gegenüber dem Beitrag der Betriebsfrequenz verschwindend gering und wird daher im Folgenden vernachlässigt.

Die Bewertung der Immissionen erfolgt an Orten, die dem nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, in einer Höhe von 1 m über Erdbodenoberkannte (EOK). Liegen Gebäude oder Gebäudeteile innerhalb des Bewertungsbereichs, so wird der Geschoßboden zur sicheren Seite abgeschätzt. Die Bewertung erfolgt in diesen Fällen in einer Höhe von mindestens 1 m über Geschoßboden. Innerhalb von geschlossenen Räumen wird in diesen Fällen nur die magnetische Flussdichte angegeben, da das elektrische Feld des Außenraums im inneren von Gebäuden abgeschirmt wird.

Da im vorliegenden Fall ausschließlich Hochspannungsfreileitungen mit einer Betriebsfrequenz von 50 Hz zu betrachten sind, ist eine Summation über Frequenzkomponenten nicht erforderlich. Es erfolgt ein direkter Vergleich mit den Grenzwerten der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte für die Frequenz 50 Hz.

Etwaig zu berücksichtigende, parallelverlaufende Freileitungen sind nicht vorhanden. Daher beschränkt sich die Berechnung auf die Immissionen der einzelnen Anlagen.

Gebäude und Bewuchs, die auf Grund ihrer Leitfähigkeit das elektrische Feld verzerren, werden gemäß der Vorgabe der Betrachtung der freien Ausbreitung der Felder nicht berücksichtigt.



Seite 10 von 39

Weiterhin werden zur Vorsorge mögliche Maßnahmen zur Reduktion von elektrischer Feldstärke und insbesondere magnetischer Flussdichte an maßgeblichen Minimierungsorten, wie sie von der 26. BImSchVV vorgesehen sind, in Abschnitt 5 untersucht und bewertet. Die umgesetzten Vorsorgemaßnahmen sind in der Bewertung der Schutzanforderungen berücksichtigt.

3 Anlagenbeschreibung

Es ist geplant, die Hochspannungsfreileitungen dieses Vorhabens mit den Folgenden wesentlichen Anlagenkenngrößen zu betreiben. Die anzunehmende maximale Stromstärke wird durch den thermischen Grenzstrom, d.h. maximal zulässigen Dauerstrom I_D , des jeweiligen Seiltyps als materialbezogene Angabe bestimmt. In der Praxis wird nach den derzeit gültigen Planungsgrundsätzen² ein geringerer, maximaler Betriebsstrom von 3600 A (in Ausnahmefällen 4000 A) zugelassen. Die Prognose und Nachweisung erfolgt somit zur sicheren Seite liegend.

Außerhalb des genannten Planungsbereichs sind keine wesentlichen Änderungen an den betreffenden Freileitungen geplant und entsprechend nicht Gegenstand der Untersuchung.

3.1 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132

Die 110-/220-/380-kV-Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132 ist für sechs Systeme, jeweils zwei 110-kV, 220-kV und 380-kV-Systeme, ausgelegt. Beginnend ab dem neu zu bauenden Mast Nr. 1004 ist geplant,

- 1 System, Einfachseil AL/ST 265/35, Nennspannung: 30 kV (110 kV isoliert)
- 1 System, Einfachseil AL/ST 265/35, Nennspannung: 110 kV
- 2 Systeme, Zweierbündel AL/ST 265/35, Nennspannung: 220 kV
- 2 Systeme, Viererbündel AL/ST 265/35, Nennspannung: 380 kV

aufzulegen. Im Bereich zwischen dem neu zu errichtenden Anlagenportal und Mast Nr. 1004 werden zur Reduktion der Schallemission für Systeme mit 380 kV Betriebsnennspannung Leiterseile vom Typ AL/ACS 550/70 mit größerem Radius im Vierfachbündel vorgesehen.

Auf der bestehenden Hochspannungsfreileitung sind die Systeme mit 110 kV und 220 kV Nennspannung in jeweils einer Traversenebene angeordnet. Auf der untersten Traversenebene werden die 110-kV-Systeme geführt, auf der zweiten Traversenebene werden die 220-kV-Systeme geführt. Die Systeme mit 380 kV Nennspannung sind in einer Dreieckanordnung auf den zwei darüber liegenden Traversenebenen installiert.

Die technische Ausstattung dieser Freileitung ermöglicht den Betrieb von zwei 110-kV-Systemen auf der untersten Traversenebene. Für die Untersuchung der Zulässigkeit wird daher ein Betrieb von zwei 110-kV-Systemen (ungeachtet der tatsächlichen Nutzung) angenommen.

3.2 Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583

Die 380-kV-Hochspannungsfreileitung Pkt. Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583 ist für vier Systeme, jeweils zwei 110-kV- und 380-kV-Systeme, ausgelegt. Bis zum neu zu bauenden Mast Nr. 2299 ist geplant,

- 2 Systeme, Einfachseil AL/ST 265/35, Nennspannung: 110 kV

²<https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>

- 2 Systeme, Viererbündel AL/ST 265/35, Nennspannung: 380 kV

aufzulegen. Im Bereich zwischen den neu zu errichtenden Mast Nr. 2299 bis zu dem Anlagenportal werden zur Reduktion der Schallemission für Systeme mit 380 kV Betriebsnennspannung Leiterseile vom Typ AL/ACS 550/70 mit größerem Radius im Vierfachbündel vorgesehen.

Auf der bestehenden Hochspannungsfreileitung sind die Systeme mit 110 kV Nennspannung in einer Traversenebene angeordnet. Die Systeme mit 380 kV Nennspannung sind in einer Dreieckanordnung auf den zwei darüber liegenden Traversenebenen installiert.

3.3 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584

Die 380-kV-Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584 ist für jeweils zwei 220-kV- und 380-kV-Systeme ausgelegt. Beginnend ab dem neu zu errichtenden Mast Nr. 1003 ist geplant

- 1 System, Zweierbündel AL/ST 265/35, Nennspannung: 220 kV
- 1 System, Einfachseil AL/ST 265/35, Nennspannung: 110 kV
- 2 Systeme, Viererbündel AL/ST 265/35, Nennspannung: 380 kV

aufzulegen. Im Bereich zwischen dem neu zu errichtenden Anlagenportal und Mast Nr. 1003 werden zur Reduktion der Schallemission für Systeme mit 380 kV Nennspannung Leiterseile vom Typ AL/ACS 550/70 mit größerem Radius im Vierfachbündel vorgesehen.

Auf der bestehenden Hochspannungsfreileitung sind die Systeme mit 110 kV Nennspannung in einer Traversenebene angeordnet. Die Systeme mit 380 kV Nennspannung sind in einer Dreieckanordnung auf den zwei darüber liegenden Traversenebenen installiert.

3.4 Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien

Im Pkt. Merzen laufen die vorgenannten bestehenden Freileitungen zusammen. Dieser Punkt stellt einen wichtigen Netzknotenpunkt dar, der besondere Bedeutung für die Netzstabilität in der Region hat. Eine längere Freischaltung des Bereichs zum Umbau der Leitungsführung ist daher nicht möglich. Zunächst werden die Leitungsabschnitte außerhalb der bestehenden Trassenbereiche errichtet. Für die Errichtung der Masten in bestehender Trassenachse sind anschließend provisorische Bypässe vorgesehen. Die Systeme der 380-kV-Spannungsebene werden hierzu auf Provisorienmasten aufgelegt. Zur Aufrechterhaltung der Verbindungen in den Spannungsebenen 220 kV, 110 kV und 30 kV kommen Baueinsatzkabel (BEK) zum Einsatz. Für die Übergabe der mitgeführten Systeme der 220-kV-, 110-kV- und 30-kV-Spannungsebene auf Baueinsatzkabel sind weitere Provisorienmaste notwendig.

Im Westen der Bl. 4132 werden zur Errichtung des Masten Nr. 1004 die provisorischen Maste 4132/P1 bis P3 errichtet. Diese führen zur Bauzeit ein 380-kV-System zwischen den bestehenden Masten Nrn. 3 und 5. Zur Übergabe der mitgeführten Systeme mit einer Nennspannung von 220 kV und weniger auf Baueinsatzkabel sind die provisorischen Masten P4 und P5 notwendig.

Seite 13 von 39

Zur Errichtung der Masten Nrn. 2299 und 1300 sind östlich des Pkt. Merzen die provisorischen Maste 4583/P1 bis P4 notwendig. Diese führen zur Bauzeit 380-kV-Systeme. Die mitgeführten Systeme mit einer Nennspannung von 110 kV werden über Baueinsatzkabel geführt.

Nördlich der Bl. 4584 werden zur Errichtung des Masten Nr. 1003 und Einbindung in das bestehende Netz mehrere zeitlich aufeinander folgende provisorische Verbindungen über die Maste Nrn. 4584/P1 bis P7 notwendig. Zur Übergabe der mitgeführten Systeme mit einer Nennspannung von 220 kV und weniger auf Baueinsatzkabel sind die provisorische Masten P8 und P9 notwendig.

4 Schutzanforderungen an Niederfrequenzanlagen

Die 26. BImSchV stellt gem. § 3 verschiedene Anforderungen an Niederfrequenzanlagen. Neben der Einhaltung von Grenzwerten (Abs. 1-2) wird die Berücksichtigung von bestehenden Niederfrequenzanlagen von 1 Hz bis 9 kHz und von Hochfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 9 kHz bis 10 MHz (Abs. 3) sowie die Vermeidung von Funkentladungen (Abs. 4) geregelt. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird im Folgenden einzeln geprüft und bewertet.

4.1 Einhaltung der Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen (1 Hz bis 9 kHz) an Orten des nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen

Für neu zu errichtende und wesentlich zu ändernde Niederfrequenzanlagen schreibt die 26. BImSchV Grenzwerte, die an dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienenden Orten einzuhalten sind, fest. Dabei sind alle Grundstücke und Gebäude betrachtet worden, in oder auf denen nach der bestimmungsgemäßen Nutzung Personen regelmäßig länger – mehrere Stunden – verweilen können. Als solche kommen gem. den LAI-Hinweisen insbesondere Wohngebäude, Krankenhäuser, Schulen, Schulhöfe, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze und Kleingärten in Betracht. Bei großen Grundstücken mit unterschiedlichen Nutzungen wurden ausgewiesene Nutzungsarten der Grundstücksteile entsprechend berücksichtigt. Für den Ort, an dem mit einer Überschreitung der Grenzwerte am ehesten zu rechnen ist, ist als maßgeblichem Immissionsort der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte zu führen. Dies sind regelmäßig die Orte, an denen der geringste Seilbodenabstand besteht.

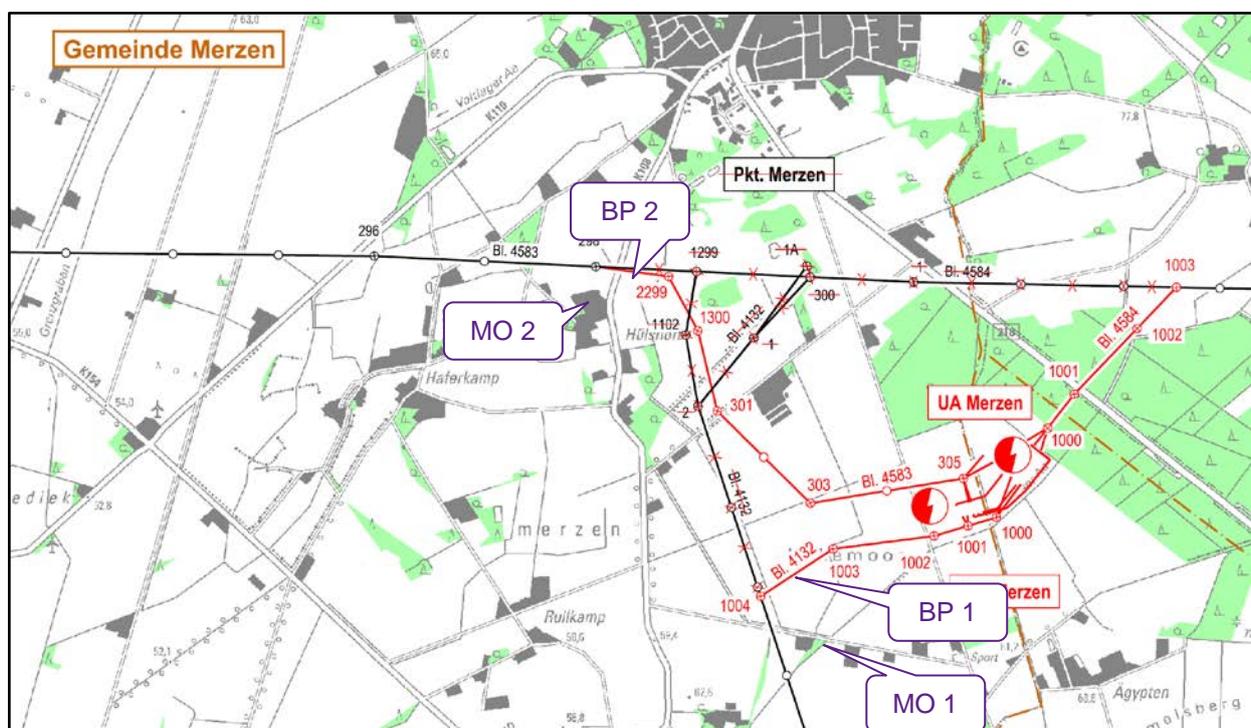


Abbildung 2: Darstellung des Planungsbereichs des Vorhabens Leitungseinführung UA Merzen (Auszug aus Anlage 2, Blatt 1 der Planfeststellungsunterlage) mit nächstgelegenen maßgeblichen Minimierungsorten (MO) 1 und 2 sowie zugehörigen Bezugspunkten (BP).

Maßgebliche Minimierungsorte	Elektrische Feldstärke E	Magnetische Flussdichte B
1 (Bezugspunkt)	1.4 kV/m	26.9 μ T
2 (Bezugspunkt)	0.7 kV/m	5.6 μ T

Tabelle 1: Elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte an Bezugspunkten der maßgeblichen Minimierungsorte im Bereich der Freileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132

Gliedert sich ein Vorhaben in mehrere Abschnitte mit technischen Unterschieden, wie der abschnittswisen Mitführungen von weiteren Stromkreisen beispielsweise der Verteilnetzebene oder dem Wechsel der Mastkopfgeometrie, so ist je technischem Abschnitt ein Nachweis zu führen. Auch Abschnitte in denen sich die Bündelungssituation mit parallel verlaufenden, zu berücksichtigenden Freileitungen ändert, begründen derartige technische Abschnitte.

In diesem Vorhaben ergibt sich diese Abschnittsbildung aus den drei bestehenden Höchstspannungsfreileitungen, die kleinräumig zu verschwenken sind. Sie untergliedern sich jeweils in einen neu zu errichtenden und einem anzupassenden Teilabschnitt. Ebenfalls separat werden die Immissionen im Bereich der Freileitungsprovisorien untersucht. In den anschließenden Unterabschnitten werden diese vier Abschnitte daher einzeln bezüglich der Schutzanforderungen aus § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV untersucht.

Allgemein ist festzuhalten, dass bei der Trassierung der Leitungsführung als ein wichtiges Kriterium ein möglichst großer Abstand zur Wohnbebauung als raumplanerische Vorgabe berücksichtigt wurde. Daraus ergibt sich, dass nach den vorgenannten Regeln keine maßgebenden Immissionsorte innerhalb des Einwirkungsbereich der zu ändernden Höchstspannungsfreileitungen liegen. Damit erfüllt das Vorhaben formell die Anforderungen aus § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV.

4.1.1 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132

Im Bereich der zu ändernden Maste und Spannfelder der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappen, Bl. 4132 liegen keine Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts im Einwirkungsbereich³ der Niederfrequenzanlage. Somit liegen keine maßgeblichen Immissionsorte vor. Damit genügt die Planung der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappen, Bl. 4132 den Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV. Zur quantitativen Bewertung im Rahmen der Umweltverträglichkeitsuntersuchung wird daher auf die im Rahmen der Prüfung der Vorsorgeanforderungen ermittelten Bezugspunkte⁴ zurückgegriffen. Die Prüfung der Vorsorgeanforderungen wird im nachfolgenden Kapitel 5 dargestellt.

³ Der Einwirkungsbereich von Niederfrequenzanlagen zur Ermittlung von maßgeblichen Immissionsorten umfasst den Bereich einer „Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens“ von 20 m für Freileitungen mit 380 kV Nennspannung; LAI Hinweisen (2014). Siehe auch Fußnote 1.

⁴ Maßgebliche Minimierungsorte, die außerhalb des Bewertungsbereichs (bei 380 kV Nennspannung: Bereich 20 m rechts und links des äußersten ruhenden Leiterseils) liegen, sind auf den Bewertungsabstand zu projizieren und heißen Bezugspunkt.

Seite 16 von 39

Östlich des Spannungsfeldes zwischen dem bestehenden Mast 5 und dem neu zu errichtenden Mast 1004 liegt in 89 m Entfernung der Minimierungsort 1. Da dieser außerhalb des Bewertungsbereichs liegt, wird Minimierungsort 1 auf den Bewertungsabstand von 20 m zum äußersten, ruhenden Leiterseil projiziert. Eine individuelle Betrachtung des Minimierungsorts ist nicht erforderlich. An diesem Bezugspunkt 1 erreicht die elektrische Feldstärke 1.4 kV/m und die magnetische Flussdichte 26.9 μT (vgl. Tabelle 1). Diese Werte liegen deutlich unter den an Orten, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, einzuhaltenden Grenzwerten für 50-Hz-Anlagen von 5 kV/m für die elektrische Feldstärke bzw. 100 μT für die magnetische Flussdichte.

4.1.2 Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583

Im Bereich der zu ändernden Maste und Spannungsfelder der Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583 liegen keine Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts im Wirkungsbereich der Niederfrequenzanlage. Somit liegen keine maßgeblichen Immissionsorte vor. Damit genügt die Planung der Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583 den Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV. Zur quantitativen Bewertung wird daher auf die im Rahmen der Prüfung der Vorsorgeanforderungen ermittelten Bezugspunkte zurückgegriffen. Die Prüfung der Vorsorgeanforderungen wird im nachfolgenden Kapitel 5 dargestellt.

Südlich des Spannungsfeldes zwischen dem bestehenden Mast 298 und dem neu zu errichtenden Mast 2299 liegt in 111 m Entfernung der maßgebliche Minimierungsort 2. Da dieser außerhalb des Bewertungsbereichs liegt, wird Minimierungsort 2 auf den Bewertungsabstand von 20 m projiziert. Eine individuelle Betrachtung des Minimierungsorts ist nicht erforderlich. An diesem Bezugspunkt 2 erreicht die elektrische Feldstärke 0.7 kV/m und die magnetische Flussdichte 5.6 μT (vgl. Tabelle 1). Diese Werte liegen deutlich unter den an Orten, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, einzuhaltenden Grenzwerten für 50-Hz-Anlagen von 5 kV/m für die elektrische Feldstärke bzw. 100 μT für die magnetische Flussdichte.

4.1.3 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584

Im Bereich der zu ändernden Maste und Spannungsfelder der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584 liegen keine Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts im Wirkungsbereich der Niederfrequenzanlage. Somit liegen keine maßgeblichen Immissionsorte vor. Damit genügt die Planung der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584 den Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV. Zudem liegen in diesem Bereich keine Minimierungsorte vor, sodass ebenso keine Bezugspunkte zu untersuchen waren.

4.1.4 Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien

Für die Errichtung der Neubaumasten der Freileitungen Bl. 4132, Bl. 4583 und Bl. 4584 werden verschiedene Arten von Provisorien erforderlich. Neben Baueinsatzkabeln (BEK) kommen Freileitungsprovisorien mit temporären Masten zum Einsatz. Dabei kommen die Freileitungsprovisorien räumlich und zeitlich eng begrenzt in der Nähe der in der bestehenden Trassenachse zu errichtenden Winkelabspannmaste Bl. 4132 Nr. 1004, Bl. 4583 Nr. 2299 und Bl. 4584 Nr. 1003

Seite 17 von 39

zum Einsatz. Wie bei Freileitungen üblich, bleiben auch die Bereiche unterhalb von Freileitungsprovisorien allgemein zugänglich, d.h. frei von Zugangsbeschränkungen. Daher sind für Freileitungsprovisorien die Anforderungen der 26. BImSchV zu erfüllen.

Eine kartografische Darstellung der geplanten Trassen aller temporär zu errichtenden Freileitungsprovisorien und Baueinsatzkabel ist der Anlage 11.4 zu entnehmen. Auch im Einwirkungsbereich³ der Freileitungsprovisorien liegen keine Orte, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen. Somit liegen keine maßgeblichen Immissionsorte vor. Damit genügt die Planung der Freileitungsprovisorien den Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV. Darüber hinaus wurde sichergestellt, dass auf von Freileitungsprovisorien überspannten Wegen zur Vermeidung erheblicher Belästigungen die elektrische Feldstärke einen Wert von 5 kV/m nicht überschreitet.

Die Trassenstreifen von Baueinsatzkabeln werden grundsätzlich von mobilen Bauzäunen gesichert und sind somit zugangsbeschränkte Bereiche. Diese Trassenstreifen haben eine Breite von 20 m für Baueinsatzkabeltrassen bis 110 kV Nennspannung und 30 m bei Baueinsatzkabeltrassen bis 220 kV Nennspannung. Der Einwirkungsbereich der Kabel⁵ liegt vollständig innerhalb des zugangsbeschränkten Bereichs. Das der Baueinsatzkabeltrasse nächstgelegene Wohngebäude (maßgeblicher Minimierungsort MO2) liegt in mindestens 25 m Entfernung zum Baueinsatzkabel und somit außerhalb des Einwirkungsbereichs des 220-kV-Wechselstromkabels. Etwaige Überfahrten stellen Wege und damit keine Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts von Menschen dar. Somit liegen keine maßgeblichen Immissionsorte vor. Damit genügt die Planung der Baueinsatzkabelprovisorien den Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV.

Damit erfüllen die Provisorien, sowohl als Freileitung und als auch als Baueinsatzkabel, die Anforderungen aus § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV.

4.1.5 Zusammenfassung

Die Planung berührt keine Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen. Sie erfüllt damit die Anforderungen der § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV.

Zur quantitativen Bewertung wurden in den technischen Abschnitten mit maßgeblichen Minimierungsorten zudem elektrische Feldstärken und magnetische Flussdichten an Bezugspunkten berechnet. Diese liegen deutlich unter den an Orten, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, einzuhaltenden Grenzwerten für 50-Hz-Anlagen von 5 kV/m für die elektrische Feldstärke bzw. 100 µT für die magnetische Flussdichte. Die genannten Immissionswerte berücksichtigen die im anschließenden Kapitel betrachteten Maßnahmen zur Vorsorge nach § 4 der 26. BImSchV.

Das Vorhaben setzt raumplanerische Vorgaben um, die einen möglichst großen Abstand zur Wohnbebauung vorsehen. Einhergehend sind keine maßgeblichen Immissionsorte im Vorhaben-gebiet vorhanden. Damit sind die Anforderungen des § 3 Abs. 1-2 der 26. BImSchV erfüllt.

⁵ Der Einwirkungsbereich von Kabeln umfasst den Bereich um das Kabel von 1 m. LAI-Hinweise (2014)

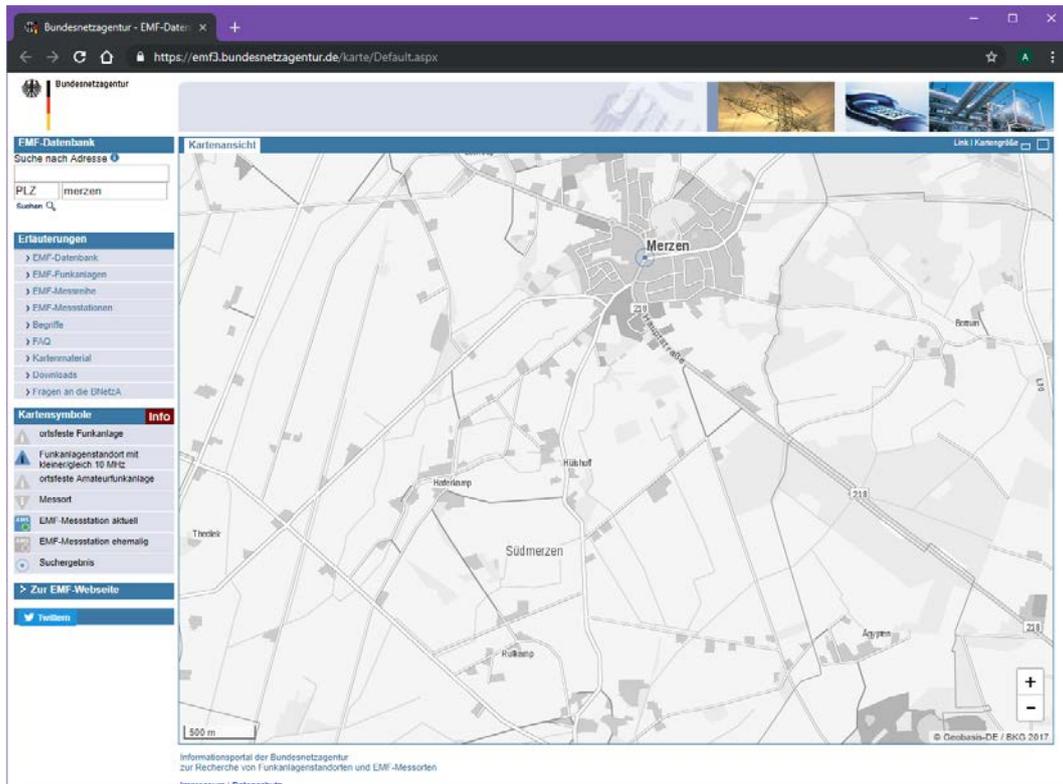


Abbildung 3: Auszug aus der EMF-Datenbank der BNetzA, gefiltert nach Standorten von Funksendeanlagen bis 10 MHz. Quelle: <https://emf3.bundesnetzagentur.de>, Abgerufen: 11.07.2019 13:53

4.2 Berücksichtigung von Hochfrequenzanlagen (9 kHz bis 10 MHz)

Gemäß § 3 Abs. 3 der 26. BImSchV sind bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz (kHz) und 10 Megahertz (MHz), die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, zu berücksichtigen.

Zur praktischen Umsetzung dieser Anforderung wurde von den zuständigen Länderministerien und der Bundesnetzagentur (BNetzA) folgende Vorgehensweise festgelegt: Eine Summation mit elektrischen und magnetischen Feldern der Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz hat nur dann zu erfolgen, wenn sich in bis zu 300 m Entfernung zur Niederfrequenzanlage eine zu betrachtende Hochfrequenzanlage befindet.

Dieser Regelung liegt die Einschätzung von messtechnischen Fachstellen hinsichtlich der Immissionsbeiträge von Hochfrequenzanlagen im Spektrum von 9 kHz bis 10 MHz zugrunde. Wesentliche Anteile der Immissionsbeiträge in diesem Frequenzbereich werden nur durch leistungsstarke Langwellen-, Mittelwellen- und Kurzwellensendeanlagen (LMK-Sendeanlagen) verursacht.

Seite 19 von 39

Zur Recherche nach Standorten von ortsfesten Funkanlagen betreibt die BNetzA eine öffentlich einsehbare EMF-Datenbank. Laut dem in Abbildung 3 wiedergegebenen Auszug der EMF-Datenbank befinden sich im Umkreis von mindestens 2 km Entfernung des beantragten Vorhabens keine Funkanlagenstandorte mit einer Frequenz kleiner-gleich 10 MHz. Eine spezifische Berücksichtigung von Hochfrequenzanteilen bei der Bewertung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte in den Nachweisen über die Einhaltung der Anforderungen der 26. BImSchV ist daher für dieses Vorhaben nicht erforderlich.

4.3 Vermeidung von Funkenentladungen

Der Effekt der sogenannten Funkenentladung durch Aufladung metallener Objekte (z.B. eines Fahrrads oder eines Regenschirms) unter einer Höchstspannungsfreileitung, ist physikalisch erklärbar. Verantwortlich hierfür ist das elektrische Feld unterhalb einer Freileitung: Es führt in leitfähigen Materialien zu einer Verschiebung von elektrischen Ladungsträgern, die eine Mikroentladung zur Folge haben kann. Die spürbaren Effekte an der Hautoberfläche sind dadurch zu erklären, dass die metallenen Gegenstände im elektrischen Feld ein anderes Potential annehmen als die Person selbst. Bei Annäherung an ein metallenes Objekt, wie beispielsweise die leitfähigen Teile eines Fahrrades oder Regenschirms, kommt es zu einer Entladung. Die Wahrnehmung solcher Mikroentladungen hängt von Witterungsbedingungen sowie von anderen Einflussgrößen wie Größe der metallenen Objekte, Beschaffenheit von Kleidung, Schuhen, Sätteln usw. ab. Die hierbei hervorgerufenen Ströme bei der Entladung werden in ihrer Intensität unterschiedlich wahrgenommen. Sie sind jedoch sehr klein und ungefährlich. Ein solcher Effekt ist vergleichbar mit der elektrostatischen Entladungserscheinung, die z.B. beim Berühren von metallenen Türklinken auftreten kann, nachdem man über synthetische Teppichböden gegangen ist.

Dieser Effekt ist unabhängig von der Spannungsebene der Freileitung und lässt sich nicht vollständig vermeiden. Erhebliche Belästigungen oder Schäden sind bei Einhaltung eines Wertes von 5 kV/m für das elektrische Feld aber auszuschließen. Dieser Wert wird auf den neu zu errichtenden Abschnitten der Leitungstrassen eingehalten bzw. weit unterschritten.

5 Vorsorgeanforderungen an Niederfrequenzanlagen

In der 26. BImSchV werden zusätzliche Anforderungen an Niederfrequenzanlagen zur Vorsorge gestellt. Diese Anforderungen sehen bei Neuerrichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen wie dem hier geplanten Leitungsprojekt vor, dass die Möglichkeiten auszuschöpfen sind, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Das Nähere regelt die 26. BImSchVVwV. Bei der vorliegenden Planung wurde dem Vorsorgegebot durch eine Optimierung elektrischer und magnetischer Felder bei der Planung Rechnung getragen.

Die zu prüfenden Optimierungsmaßnahmen für elektrische und magnetische Felder von Höchstspannungsfreileitungen im Drehstrombetrieb gem. Ziff. 5.3.1 der 26. BImSchVVwV nach dem derzeitigen Stand der Technik,

- die Abstandsoptimierung (Ziffer 5.3.1.1); z.B. durch Erhöhung des Bodenabstandes durch zusätzliche Masterrhöhungen,
- die elektrische Schirmung (Ziffer 5.3.1.2), z.B. durch zusätzliche Erdungsseile unterhalb der Leiterseile,
- die Reduktion der Seilabstände (Ziffer 5.3.1.3), z.B. durch Verkürzung der Seilabstände zwischen den Aufhängepunkten der Leiterseile an den Traversen,
- die Optimierung der Mastkopfgeometrie (Ziffer 5.3.1.4) durch Veränderung der Abstände von Phasen- bzw. Systemen untereinander und
- die Optimierung der Leiterseilanordnung (Ziffer 5.3.1.5) durch Veränderung Phasenfolge am Mast

werden im Folgenden untersucht.

Die in diesem Vorhaben mögliche Optimierungsmaßnahmen wurden entsprechend den Vorgaben unter Berücksichtigung der Abgrenzung zu planerischen Optimierungsmaßnahmen identifiziert, sowie in der Planung berücksichtigt und umgesetzt. Dabei wurden insbesondere das Minimierungsziel und die Rahmenbedingungen aus Ziffer 3.1 der 26. BImSchVVwV berücksichtigt. Diese lauten:

Das Ziel des Minimierungsgebotes nach § 4 Absatz 2 26. BImSchV ist es, die von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich so zu minimieren, dass die Immissionen an den maßgeblichen Minimierungsorten der jeweiligen Anlage minimiert werden.

Minimierungsmaßnahmen gemäß § 4 Absatz 2 26. BImSchV sind zu prüfen, wenn sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage befindet. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig

betrachtet. Eine Maßnahme kommt als Minimierungsmaßnahme nicht in Betracht, wenn sie zu einer Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort führen würde.

Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse. Das Minimierungsgebot verlangt keine Prüfung nach dem im Energiewirtschaftsrecht verankerten sogenannten NOVA-Prinzip – Netzoptimierung vor Netzverstärkung vor Netzausbau – und keine Alternativenprüfung, wie zum Beispiel Erdkabel statt Freileitung, alternative Trassenführung oder Standortalternativen, die nach den sonstigen Rechtsvorschriften, insbesondere nach dem Planfeststellungsrecht, erforderlich sein können.

Es kann die Anwendung mehrerer Minimierungsmaßnahmen in Betracht kommen. Soweit deren gemeinsame Anwendung ausscheidet, ist eine Auswahl anhand der in dieser allgemeinen Verwaltungsvorschrift enthaltenen inhaltlichen Maßgaben zu treffen. Wirken sich eine oder mehrere Minimierungsmaßnahmen unterschiedlich auf das elektrische und das magnetische Feld aus, ist bei der Auswahl für Gleichstromanlagen die Minimierung des elektrischen Feldes und für Niederfrequenzanlagen die Minimierung des magnetischen Feldes zu bevorzugen.

Insbesondere ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, indem Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen betrachtet werden. Zudem sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen.

Wird auf bestehendem Gestänge eine neue Leitung mitgeführt oder eine bereits mitgeführte Leitung wesentlich geändert, bezieht sich das Minimierungsgebot nur auf diese mitgeführte Leitung, sofern die bestehende Leitung nicht ihrerseits wesentlich geändert wird. Hierbei ist unbeachtlich, ob sich Spannungsebene und Frequenz der Leitungen unterscheiden. Bei der Minimierung der neuen oder wesentlich geänderten Leitung sind jedoch die Felder der bestehenden Leitung mit zu berücksichtigen.

Ziffer 3.1 der 26.BImSchVVwV

Zudem sind in diesem Vorhaben Überspannungen in neuer Trasse von Gebäuden und Gebäudeteilen, die dem dauerhaften Aufenthalt von Menschen dienen, gem. § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV unzulässig.

5.1 Maßgebliche Minimierungsorte

Entsprechend der vorgenannten Kriterien wurde gemäß Nr. 3.2.1 der 26. BImSchVVwV zunächst eine Vorprüfung durchgeführt, inwieweit sich im Einwirkungsbereich des Vorhabens maßgebliche Minimierungsorte befinden. Für dieses Vorhaben ist der festgelegte pauschale Einwirkungsbereich von 400 m Abstand zum äußersten ruhenden Leiterseil (Nr. 3.2.1.2, 26. BImSchVVwV) untersucht worden. Innerhalb dieses Einwirkungsbereichs befinden sich mehrere Minimierungsorte. Im Folgenden werden die Minimierungspotentiale der in der 26. BImSchVVwV genannten Maß-

Seite 22 von 39

nahmen für diese Orte identifiziert und bewertet bzw. deren Umsetzung in der Planung dargestellt. Zusätzlich wurden die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte für den nächstgelegenen maßgeblichen Minimierungsorte 1 und 2 an den jeweiligen Bezugspunkten Bezugspunkt 1 und 2 ermittelt. Die grafische Darstellung der Minimierungsorte ist Abbildung 2, die ermittelten Immissionen sind Tabelle 2 zu entnehmen.

5.1.1 Maßgebliche Minimierungsorte und Bezugspunkte

Für außerhalb des Bewertungsabstands liegende maßgebliche Minimierungsorte sind zur Minimierungsprüfung Bezugspunkte zu bilden. Diese werden auf dem Bewertungsabstand im Schnittpunkt mit der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen Minimierungsort und der Trassenachse gebildet. Für einen Bereich dichter Bebauung außerhalb des Bewertungsbereichs, wird ein repräsentativer Bezugspunkt gewählt (Geschlossene Siedlungsstruktur).

5.1.2 Individuelle maßgebliche Minimierungsorte

Für innerhalb des Bewertungsabstands von 20 m (ausgehend vom äußeren ruhenden Leiterseil) liegende Minimierungsorte bezieht sich die Prüfung und Bewertung auf deren konkrete Lage und Exposition (individuelle Prüfung). Diese individuellen maßgeblichen Minimierungsorte sind identisch mit den maßgeblichen Immissionsorten gemäß § 3 (1) der 26. BImSchV. Im vorliegenden Fall liegen, wie in Abschnitt 4.1 festgestellt, keine Orte, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, vollständig bzw. teilweise innerhalb des Bewertungsbereichs. Eine Betrachtung individueller maßgeblicher Minimierungsorte entfällt somit.

5.2 Allgemeine Minimierungsprüfung

Bereits im Rahmen der grundlegenden Planungen dieses Vorhabens wurden Möglichkeiten zur Reduktion der Emission von elektrischem und magnetischem Feld berücksichtigt. Dies betrifft u.a. die Auswahl der Mastgeometrie, wie auch die geeignete Wahl der Masthöhen und der sich daraus ergebenden Seilbodenabstände. Im Detail werden die betrachteten Optimierungen im Folgenden beschrieben.

5.2.1 Technisch/elektrische Abschnitte

Das Projekt untergliedert sich in drei technische Abschnitte, die sich aus den zu ändernden bestehenden Freileitungen Bl. 4132, 4583, 4583 ergeben. Sofern angezeigt, werden einzelne feldreduzierende Maßnahmen abschnittsweise betrachtet.

5.2.2 Abstandsoptimierung durch Erhöhung der Bodenabstände

Ziel der Abstandsoptimierung ist die Verringerung der Immissionswerte durch Erhöhung des Abstands zwischen den Leiterseilen und dem Erdboden. Praktisch ist dies zu erreichen, indem Maste erhöht oder Spannfelder durch zusätzliche Maste verkürzt werden. Dabei ist die minimale Leiterseilhöhe bei Vorliegen maßgeblicher Immissionsorte im Einwirkungsbereich nach 26. BImSchV durch die Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte und im Übrigen durch minimal zulässige technisch bedingte Schutzabstände (gem. DIN EN 50341) [6, 7, 8] bestimmt.

Seite 23 von 39

Eine Erhöhung der Maste geht im Allgemeinen mit einer Erhöhung der optischen Beeinträchtigung des Wohnumfeldes im Nahbereich einher, da insbesondere das Mastaustrittsmaß abhängig von der Masthöhe ist. Diese optische Beeinträchtigung nimmt gewöhnlich mit Annäherung an die Leitungsachse zu, während gleichzeitig die absolute Reduktion der Immissionswerte ebenfalls mit Annäherung an die Leitungsachse zunimmt. Eine Erhöhung der Maste geht ebenso mit einer Erhöhung der Beeinträchtigung des Schutzgutes Landschaftsbild einher. Es handelt sich bei den aufgeführten Belangen daher um potentiell konkurrierende Effekte.

Eine Verkürzung der Spannfeldlängen und damit eine Erhöhung der Mastanzahl wirkt sich ebenfalls ungünstig auf das Schutzgut Landschaftsbild aus. Darüber hinaus sind Belange Dritter zu beachten, wenn zusätzliche Eingriffe ins Eigentum notwendig werden. Zusätzliche Masten gehen ebenfalls mit einem erhöhten Eingriff in das Schutzgut Boden einher. Ebenfalls sind Beeinträchtigungen auf die Tier- und Pflanzenwelt durch weitere Maststandorte möglich. Auf ökonomischer Seite sind deutliche Mehrkosten durch Bau, die zu entschädigende dingliche Sicherung von Nutzungsrechten und Nutzungseinschränkungen der Grundstückseigentümer zu erwarten.

Mindestens die Beeinträchtigung des Schutzguts Landschaftsbild stellt im Gegensatz zur Nützlichkeit der in diesem Kapitel diskutierten Feldreduktion einen eindeutigen nachweisbaren Effekt dar. Es kommt zu (zusätzlichen) Eingriffen in Boden und Eigentum und einer erhöhten Wahrnehmbarkeit der Freileitung. Eine abschnittsweise, individuelle Betrachtung dieser Minimierungsmaßnahme erfolgt in Abschnitt 5.3 dieses Berichts.

5.2.3 Elektrische Schirmung

Das Anbringen von zusätzlichen geerdeten (nicht spannungsführenden) Schirmseilen zwischen den spannungsführenden Leitungsteilen und einem maßgeblichen Minimierungsort erfordert eine zusätzliche Traversenebene unterhalb der geplanten spannungsführenden Traversenebene. Unter Berücksichtigung der Mindestisolierluftstrecken zwischen den Schirmseilen und den spannungsführenden Leiterseilen sowie des einzuhaltenden Mindestbodenabstandes führt die zusätzliche Traversenebene für die Schirmseile zu einer deutlichen Erhöhung der Masten.

Damit ergeben sich weitestgehend die bereits im vorangegangenen Kapitel diskutierten Auswirkungen auf das Wohnumfeld und die Schutzgüter Landschaftsbild, Boden sowie Tiere und Pflanzen, bedingt durch die Erhöhung der Masten. Damit gehen größeren Fundamente der Masten auf Grund höherer statischer Anforderungen einher. Letzteres bedeutet einen erhöhten Eingriff in das Schutzgut Boden und das Eigentumsrecht Dritter.

Auch wirken sich zusätzliche Erd- oder Schirmseile auf die Randfeldstärken an den Leiterseilen und damit auf die Geräuschemission durch den Koronaeffekt aus – ebenfalls ein Immissionsschutzbelang. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist zudem überwiegend auf die elektrische Feldstärke beschränkt und wirkt vornehmlich im Bereich unmittelbar unterhalb der Leiterbündel. Die Wirksamkeit der Maßnahme wird daher von der 26. BImSchVVwV als niedrig eingestuft.

Diese Maßnahme kommt immer dann in Betracht, wenn Maste neu errichtet werden. Die Betrachtung ist im vorliegenden auf die Maste beschränkt, die neu errichtet werden. Die Wirksamkeit einer Schirmung ist auf den Bewertungsbereich beschränkt. In der vorliegenden Planung sind

aufgrund der Außenbereichslage der Umspannanlage Merzen keine maßgeblichen Minimierungsorte zu betrachten. Daher scheidet diese Maßnahme mit verschwindend geringer Wirkung für die maßgeblichen Minimierungsorte aus.

5.2.4 Minimierung der Seilabstände

Ziel der Minimierung der Seilabstände ist eine Optimierung der Feldkompensation am Immissionsort. Damit einhergehend erhöht sich insbesondere die elektrische Feldstärke im Bereich der spannungsführenden Leiterseile, der Randfeldstärke. Dies bedingt eine Erhöhung des Koronaeffekt und einhergehenden höheren Schallemissionen.

Begrenzt wird diese Minimierungsmaßnahme von den vorgegebenen Mindestisolierluftstrecken gem. DIN EN 50341-2-4 [7]. Zudem sind Sicherheitsabstände zur Wartung notwendig, da bei Mehrfachleitungen in der Regel ein zu wartender Stromkreis unabhängig von den anderen Stromkreisen am Mast zugänglich sein muss, um die Versorgungssicherheit nicht durch zu viele gleichzeitig abgeschaltete Stromkreise zu gefährden. Diese unabhängige Wartungsmöglichkeit einzelner Stromkreise ist bei zu geringen inneren Abständen nicht mehr gewährleistet.

Die Maßnahme führt zu keiner Änderung der Auswirkungen auf die zu untersuchenden Schutzgüter, da insbesondere keine zusätzlichen Konstruktionskomponenten (wie weitere Traversen, o.ä.) hinzukommen. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme wird von der 26. BImSchVVwV als hoch eingestuft.

Vor diesem Hintergrund wurden bereits in den planerischen Erwägungen die Seilabstände für die verwendeten neu zu errichtenden Mastgestänge unter Berücksichtigung der technischen und betrieblichen Randbedingungen auf den viersystemigen Freileitungen Bl. 4583 und 4584 sowie der sechssystemigen Bl. 4132 soweit zulässig minimiert. Die Minimierungsmaßnahme findet insgesamt Anwendung.

5.2.5 Optimierung der Mastkopfgeometrie

Die Optimierung der Mastkopfgeometrie unterliegt planerischen Einschränkungen. Allgemein unterscheiden sich die Mastkopfgeometrien in Höhe und Breite und bestimmen mit den sich daraus ergebenden notwendigen Schutzstreifenbreiten die Eingriffe in das Eigentum Dritter. Weiterhin wirkt sich eine Erhöhung der Maste beeinträchtigend auf das Schutzgut Landschaftsbild sowie auf das potentielle Anflugrisiko von Vögeln aus. An besonderen Stellen ergibt sich aus der Führung der jeweiligen Phasenleiter eine technisch notwendige Mastkopfgeometrie.

Unter der Mastkopfgeometrie (auch Mastbild) im Sinne der 26. BImSchVVwV wird die geometrische Anordnung der Bündelleiter am Mast, wie bspw. die Tonnenanordnung oder die Donau-Anordnung verstanden. Eine Übersicht der möglichen Mastkopfgeometrien ist in Abbildung 4 dargestellt.

Dieses Vorhaben umfasst den Ersatzneubau von wenigen Masten zur Verbindung von bestehenden Freileitungen mit der Umspannanlage Merzen. Aus technischen und betrieblichen Gründen ist daher beabsichtigt, die bestehende Anordnung der Seile fortzuführen. Auf den bestehenden

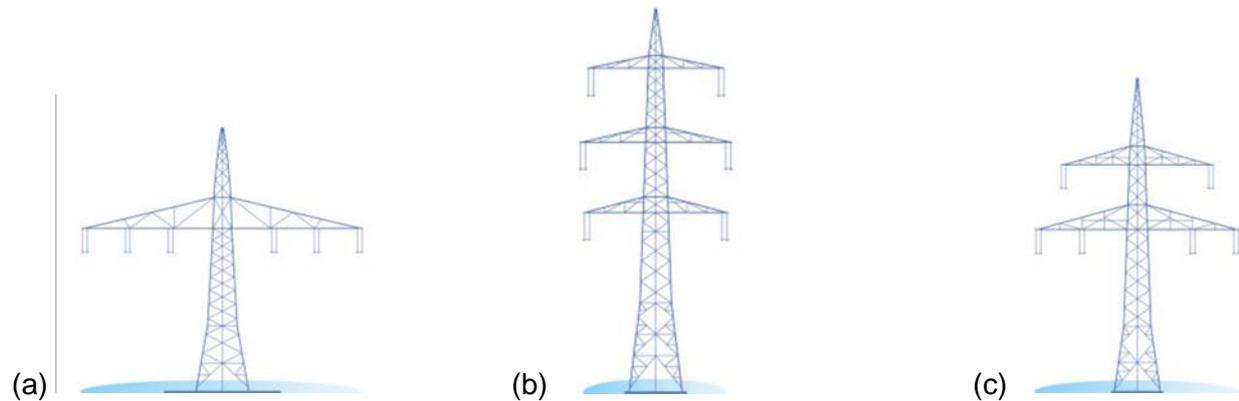


Abbildung 4: Grundformen der Mastkopfgeometrien. V.l.n.r.: Einebene (a), Tonne (b), Donau (c)

Gestängen der Bl. 4583 und 4584 werden bereits jetzt jeweils zwei 110-kV-System des Verteilnetzes mitgeführt; auf dem Gestänge der Bl. 4132 werden vier Systeme mitgeführt. Die Mitführung dieser Systeme bedingt mindestens eine weitere Traversenebene, im Fall der Bl. 4132 zweier Traversenebenen unterhalb der 380-kV-Systeme. Damit geht eine Erhöhung des Abstandes der 380-kV-Leiteseile zum Boden einher. Die Reduktion der magnetischen Flussdichte durch einen Wechsel von einer Donau-Anordnung zu einer Tonnenanordnung fällt daher in diesem Fall gering aus, insbesondere außerhalb der Bewertungsbereichs.

Ein Wechsel des Mastbildes erfordert zudem mindestens ein Spannungsfeld, in dem die Leiteseile von der einen Anordnung in eine andere verdrillt werden. Diese Spannungsfelder erzeugen im Allgemeinen höhere Immissionen, da eine optimale günstige Überlagerung nicht möglich ist. Die zu betrachtenden Bezugspunkte 1 und 2 liegen jeweils in den Bereichen der zu wählenden Übergangsspannungsfelder. Somit würden diese schlechter gestellt.

Zudem ist diese geringe Reduktion im Bereich der neu zu errichtenden Trasse verbunden mit einer Erhöhung der Masten aufgrund der zusätzlichen Traversenebene. Ein solcher Wechsel würde den Bereich vergrößern, in dem die Freileitung sichtbar wäre und stellt daher einen stärkeren Eingriff in das Schutzgut Landschaftsbild dar. Die Fortführung der bestehenden Mastkopfgeometrie war daher vorzuziehen.

5.2.6 Optimieren der Leiteranordnung

Die Optimierung der Leiteranordnung, d.h. die Anordnung der Phasenleiter am Masten definiert die elektrischen Eigenschaften der Leitung im Netz. Aus betrieblicher Sicht können insbesondere elektrische Unsymmetrien sowie die Beeinflussung der mitgeführten Systeme der Verteilnetzebene die Wahl der Phasenlage einschränken.

Für das magnetische Feld kann eine optimierte Anordnung nur für einen speziellen Betriebsfall hergestellt werden. Das Minimierungspotential ist dabei gemäß Ziff. 4 der 26. BImSchVVwV für die überwiegend zu erwartende Stromrichtungskonstellation zu prüfen. Jedoch lässt sich eine überwiegend zu erwartende Stromrichtungskonstellation aufgrund der zunehmend dynamischer werdenden Netzauslastungen nicht prognostizieren.

Die Phasenfolge ist durch die bereits bestehende Phasenfolge der bestehenden Freileitungen zunächst vorgegeben. Da bereits heute die bestehenden Freileitungen mit einer die betrieblichen Belange und die dynamische Netzauslastung berücksichtigenden, immissionsreduzierenden Phasenfolge betrieben werden, sind Änderungen ist nicht geplant. Die Möglichkeiten der Reduktion sind damit ausgeschöpft.

5.3 Betrachtung individueller, maßgeblicher Minimierungsorte

Im Planungsgebiet liegen in Außenbereichslage einzelne maßgebliche Minimierungsorte. Der nächst gelegene maßgebliche Minimierungsort in den drei technischen Abschnitten stellt das Wohnhaus einer Hofstelle an der Straße „Am Elsebach“ in einer Entfernung von 90 m östlich zur Hochspannungsfreileitung Bl. 4132 dar (Ifd. Nr. 1). Weitere maßgebliche Minimierungsorte liegen im Bereich aller zu ändernden Hochspannungsfreileitungen so wie Provisorien zur Errichtung.

Da diese außerhalb des Bewertungsbereichs liegen, ist eine individuelle Betrachtung nicht erforderlich. Eine Ermittlung der Immissionen erfolgte für die nächstgelegenen maßgeblichen Minimierungsorte an deren Bezugspunkten (s.o.).

5.3.1 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132

Der dieses Vorhaben umfassende Teil der Freileitung Bl. 4132 lässt sich in zwei Bereiche gliedern. Zur Anbindung der neu zu errichtenden UA Merzen ist eine Verschwenkung der bestehenden Trassenachse mit einem einhergehenden Neubau von Freileitungsmasten und -spannfeldern verbunden. Zur Anbindung dieses Neubaus sind Änderungen an bestehenden Spannfeldern und Masten notwendig, die immissionsschutzrechtlich unwesentliche Änderungen darstellen.

Folgt man dem Verlauf der neu zu errichtenden Freileitung Bl. 4132 beginnend am Portal der Umspannanlage bis Mast Nr. 1004, so sind zunächst drei maßgebliche Minimierungsorte an der Straße „Am Elsebach“ südlich der Trasse zu nennen. Nach dem Einschwenken in die bestehende Trassenachse an Mast 1004 finden sich zum einen maßgebliche Minimierungsort 1 östlich der Trasse, als auch vier weitere maßgebliche Minimierungsorte an der Schützenstraße und der Südmerzener Straße westlich der bestehenden Trasse.

An Mast Nr. 1004 wird die Trasse in die Achse der bestehenden Freileitung verschwenkt. Südlich bzw. östlich der Freileitung liegen im Bereich des Vorhabens drei maßgebliche Minimierungsorte. Die dort zu untersuchenden Immissionen werden durch den bestehenden und nicht wesentlich zu ändernden Abschnitt zwischen den Masten Nrn. 5 bis 7 der Freileitung Bl. 4132 hervorgerufen.

Im Abschnitt zwischen dem Portal und Mast Nr. 5 werden fünf Masten neu errichtet. Dabei orientiert sich das Mastbild der neu zu errichtenden Masten am Mastbild der bereits bestehenden Maste. Auf Grund der sechs aufgelegten Systeme auf diesem Mast erscheint die Anordnung der Stromkreise in einer Tonnenanordnung mit einer einhergehenden deutlichen Erhöhung der Masten wenig vorzugswürdig. Eine Erhöhung der Masten bei gleichem Mastbild hat ab den maßgeblichen Minimierungsorten nur einen zu vernachlässigenden Effekt. Der Anschluss an die bestehenden Maste würde im Bereich des maßgebliche Minimierungsorts 1 ein Verdrillungsspannfeld

Seite 27 von 39

zum Wechsel des Mastbildes erfordern, das mit höheren Immissionen verbunden ist. Die Reduktion der Immissionen auf Grund einer günstigen Wahl der Phasenfolge wurde bereits durch die bestehende Anlage umgesetzt, wird beibehalten und schöpft das Potential der Maßnahme damit aus.

5.3.2 Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583

Der dieses Vorhaben umfassende Teil der Freileitung Bl. 4132 lässt sich in zwei Bereiche gliedern. Zur Anbindung der neu zu errichtenden UA Merzen ist eine Verschwenkung der bestehenden Trassenachse mit einem einhergehenden Neubau von Freileitungsmasten und -spannfeldern verbunden. Zur Anbindung dieses Neubaus sind Änderungen an bestehenden Spannfeldern und Masten notwendig, die immissionsschutzrechtlich unwesentliche Änderungen darstellen.

Beginnend am Portal sind sieben Masten neu zu errichten. Auf diesen werden neben den zwei 380-kV-Systemen des Übertragungsnetzes zwei 110-kV-Systeme der Verteilnetzebene mitgeführt. Auch hier orientiert sich das Mastbild der neu zu errichtenden Masten am Mastbild der bereits bestehenden Maste. Eine Tonnenanordnung mit einer einhergehenden deutlichen Erhöhung der Masten ist hier ebenfalls wenig vorzugswürdig. Eine Erhöhung der Masten bei gleichem Mastbild hat ab den maßgeblichen Minimierungsorten nur einen zu vernachlässigenden Effekt. Der Anschluss an die bestehenden Maste würde im Bereich des maßgeblichen Minimierungsorts 2 ein Verdrillungsspannfeld zum Wechsel des Mastbildes erfordern, das mit höheren Immissionen verbunden ist. Die Reduktion der Immissionen auf Grund einer günstigen Wahl der Phasenfolge wurde bereits durch die bestehende Anlage umgesetzt, wird beibehalten und schöpft das Potential der Maßnahme damit aus.

5.3.3 Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584

Der dieses Vorhaben umfassende Teil der Freileitung Bl. 4132 lässt sich in zwei Bereiche gliedern. Zur Anbindung der neu zu errichtenden UA Merzen ist eine Verschwenkung der bestehenden Trassenachse mit einem einhergehenden Neubau von Freileitungsmasten und -spannfeldern verbunden. Zur Anbindung dieses Neubaus sind Änderungen an bestehenden Spannfeldern und Masten notwendig, die immissionsschutzrechtlich unwesentliche Änderungen darstellen.

An das Portal der UA Merzen anschließend werden vier Masten neu errichtet, bis in die bestehende Trasse der Bl. 4584 eingeschwenkt werden kann. Innerhalb des Bereichs von 400 m rechts und links der äußersten ruhenden Leiterseile finden sich keine maßgeblichen Minimierungsorte. Eine Prüfung möglicher Optimierungsmaßnahmen ist daher nicht geschuldet. Dennoch wurde diese Freileitung unter denselben Aspekten geplant.

5.3.4 Temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien

Zur Reduktion des Eingriffs in den Boden werden Freileitungsprovisorien mit Auflastfundamenten errichtet. Dadurch wird die maximal zulässige Bauhöhe dieser Masten sowie die möglichen Spannfeldlängen stark eingeschränkt. Daraus ergibt sich neben dem Seilbodenabstand auch die Wahl des Mastbildes. Zudem sind die temporär zu errichtenden Freileitungsmaste so zu errichten, dass sie die Demontage der bestehenden Freileitung und die anschließende Errichtung der

Seite 28 von 39

neuen Freileitung ermöglichen. Die Höhe der Masten ist diese Bedingungen angepasst. Eine Reduktion der Immissionen durch die Erhöhung der Masten kann daher nicht erfolgen.

Da die einsystemigen Provisorienmaste den Abstand der Systeme vergrößern und die Überlagerung verringern, ist der Einfluss der Phasenfolge auf die Immissionen geringer. Ein Wechsel der Phasenfolge ist zudem auf Grund der technischen Notwendigkeiten des Bauablaufs nicht möglich.

5.4 Überspannungen von Wohngebäuden

In diesem Vorhaben ist eine Überspannung von Gebäuden oder Gebäudeteilen unabhängig von deren Nutzungsart nicht vorgesehen.

6 Sekundäre Emissionen durch elektrische Felder

Durch die elektrische Feldstärke, die aus geometrischen Gründen an der Oberfläche der Leiter deutlich höher ist als in Bodennähe, werden in der 220- und 380-kV-Ebene elektrische Entladungen an den Leiterseilen hervorgerufen. Die Stärke dieses sogenannten Koronaeffekts hängt u.a. von der vorgenannten Randfeldstärke als auch der Luftfeuchtigkeit ab. Der Koronaeffekt stellt Leitungsverluste dar.

Bei Hoch- und Mittelspannungsleitungen bis einschließlich 110 kV sind die Phänomene des Koronaeffekts vernachlässigbar, da hier die elektrischen Randfeldstärken an den Leiterseiloberflächen zu gering sind, um relevante Koronaentladungen zu verursachen.

6.1 Betriebsbedingte Schallemissionen

Der Koronaeffekt ruft Geräusche hervor (Knistern, Prasseln, Rauschen und in besonderen Fällen ein tiefes Brummen), die nur bei seltenen Wetterlagen wie starkem Regen, Nebel oder Raureif in der Nähe von Höchstspannungsfreileitungen zu hören sind. Bei der Bewertung dieser Geräusche sind vornehmlich Ruhezeiten zu betrachten, in denen die Geräuschimmissionen besonders störend wahrgenommen werden können.

Zur Vermeidung bzw. zur Minimierung von Koronaeffekten werden bei der Amprion GmbH die Hauptleiterseile bei 380-kV-Freileitungen daher standardmäßig jeweils als Vierer-Bündel ausgebildet, bei denen die Einzelseile einen Abstand von ca. 40 cm zueinander aufweisen. Dies führt zu einer Vergrößerung der wirksamen Oberfläche und somit zu einer Verringerung der Oberflächenfeldstärke. Die Armaturen der Isolatoren werden zur Reduzierung der elektrischen Feldstärke so konstruiert, dass ihre Oberflächenradien der angelegten maximalen Betriebsspannung angepasst sind.

Weiterhin können durch Oberflächenveränderungen wie z. B. durch Wassertropfen bei Regen an Leiterseilen Koronaentladungen auftreten, die im trockenen Zustand koronafrei sind. In diesem Fall sind jedoch auch die Geräusche des Regens mit zu berücksichtigen, welche in bestimmten Situationen zur Überdeckung des Koronageräuschs führen.

In Ausnahmefällen können trotz Sorgfalt bei der Montage bei neuen Leiterseilen scharfe Grate, Schmutzteilchen oder Fettreste zu Koronaeffekten führen, die sich durch Abwittern verringern. Dieser Effekt kann dann in den ersten Monaten des Betriebes einer Freileitung beobachtet werden. Daher werden die 380-kV-Leiterseile einer hydrophilen Behandlung unterzogen, um eine künstliche Vorwegnahme der natürlichen Alterung zu erzeugen.

Die Betrachtung dieser Immissionen erfolgt im Rahmen eines separaten Gutachtens.

6.2 Störungen und Funkfrequenzen

Durch den Koronaentladungen werden zudem Stromimpulse in die Hauptleiterseile eingepreßt, die sich längs der Leitung in beiden Richtungen ausbreiten und aufgrund ihres Spektrums Radiowellen aussenden können. Die Direktabstrahlung von Energie ist dabei jedoch sehr gering, sie

Seite 30 von 39

wird mit zunehmender Frequenz stark gedämpft und ist ab etwa 5 MHz bis 20 MHz nicht mehr relevant.

Funkstörungen können daher nur in unmittelbarer Nähe einer Freileitung für Lang- und Mittelwellenbereiche festgestellt werden.

Störungen oberhalb von 20 MHz im UKW- und Fernsehübertragungsbereich treten durch den Koronaeffekt nicht auf.

6.3 Ozon und Stickoxide

Die Korona von 220- und 380-kV-Freileitungen führt auch zur Entstehung von geringen Mengen an Ozon und Stickoxiden. Durch Messungen wurden in der Nähe der Hauptleiter von 380-kV-Seilen Konzentrationserhöhungen von 2 bis 3 ppb (parts per billion; 10^{-9}) ermittelt [9].

Bei einer turbulenten Luftströmung sind bereits bei 1 m Abstand vom Leiterseil nur noch 0,3 ppb zu erwarten. Weiterhin liegt der durch Höchstspannungsleitungen gelieferte Beitrag zum natürlichen Ozongehalt bereits in unmittelbarer Nähe der Leiterseile an der Nachweisgrenze und beträgt nur noch einen Bruchteil des natürlichen Pegels. In einem Abstand von 4 m zum spannungsführenden Leiterseil ist bei 380-kV-Leitungen kein eindeutiger Nachweis zusätzlich erzeugten Ozons mehr möglich. Gleiches gilt für die noch geringeren Mengen an Stickoxiden.

7 Zusammenfassung

Die Amprion GmbH plant die Einbindung der im Bereich des Pkt. Merzen neu zu errichtenden Umspannanlage Merzen in das bestehende Übertragungsnetz. In diesem Punkt laufen die bestehenden Hochspannungsfreileitungen Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132, Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583, und Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584 zusammen. Zur Einbindung der UA Merzen werden Änderungen der Leitungsführung mit Mastneubauten der oben genannten Freileitungen notwendig. Die durch Änderungen hervorgerufenen Immissionen elektrischer und magnetischer Felder werden in diesem Bericht untersucht.

In Abschnitt 4 werden die Anforderungen der 26. BImSchV einzeln untersucht und bewertet. Aufgrund der raumplanerischen Vorgaben an die Leitungsführung sind keine maßgeblichen Immissionsorte zu definieren. Zur quantitativen Bewertung wurden daher die Bezugspunkte der nächstgelegenen, am stärksten betroffenen maßgeblichen Minimierungsorte herangezogen. An den maßgeblichen Minimierungsorten, die sich im Planungsbereich des Vorhabens befinden, werden niedrigere Immissionen erwartet.

Weiterhin wurden in Abschnitt 5 die Maßnahmen zur Vorsorge gem. §4 der 26. BImSchV i.V.m. der 26. BImSchVVwV untersucht und einzeln bewertet. Dabei bleibt festzuhalten, dass aufgrund des geringen Vorhabenumfangs einzelne Maßnahmen abschnittsweise umsetzbar oder nicht umsetzbar sind. So sind die Wahl der Mastkopfgeometrie und die Seilbodenabstände durch die bestehenden vier- bzw. sechssystemigen Hochspannungsmaste weitgehend eingeschränkt. Ein Wechsel der Mastkopfgeometrie zwischen den bestehenden Leitungsabschnitten und der Umspannanlage wurde mit Hinweis auf die betrieblichen Einschränkungen, die Erhöhung der Immissionen im Bereich der Verdrillerspannfelder und die zusätzliche Beeinträchtigung des Schutzguts Landschaftsbild in Form von deutlich höheren Masten verneint. Die Phasenfolge der bestehenden Hochspannungsfreileitungen wurde überprüft. Sie stellen die unter den gegebenen Betriebsbedingungen zur Reduktion der magnetischen Flussdichte optimierten Phasenfolgen dar.

Zudem wurden sekundäre Effekte, die zu anderen Formen von Emissionen führen können, in den Blick genommen. Für Immission in Form von Schall wird auf das separat erstellte Gutachten des TÜV Hessen verwiesen. Weitere Immissionen konnten ausgeschlossen werden.

Amprion GmbH
Asset Management
Immissionsschutz Leitungen

Appendix

A Technische Daten

A.1 Spannungsbänder gem. DIN EN 50160

Die Norm DIN EN 50160 [10] definiert die Anforderungen an die Netzspannungen der verschiedenen Hoch- und Höchstspannungsebenen. In Deutschland kommen in den Verteil- und Übertragungsnetzen drei Spannungsebenen mit den Nennspannungen 110 kV, 220 kV und 380 kV zum Einsatz. Diese zulässigen Spannungsbereiche der Spannungsebenen sind zur Gewährleistung der Spannungsqualität in den unterlagerten Netzen einzuhalten.

Nennspannung	Niedrigste Betriebsspannung $U_{b,min}$	Höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$
110 kV	100 kV	123 kV
220 kV	210 kV	245 kV
380 kV	360 kV	420 kV

Tabelle 2: Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetz eingesetzten Spannungsebenen. Im Rahmen von Prognosen ist die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ anzusetzen.

A.2 Elektrische Seilkenngößen

Die Stromtragfähigkeit von Leiterseilen ist durch den thermisch zulässigen Dauerstrom I_D begrenzt. In der Praxis wird nach den derzeit gültigen Planungsgrundsätzen der vier Übertragungsnetzbetreiber⁶ ein maximaler Betriebsstrom von 3.6 kA (in Ausnahmefällen 4.0 kA) zugelassen. Die thermisch zulässigen Dauerströme der in diesem Vorhaben eingeplanten Seile sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Bezeichnung	Einfachseil	Zweierbündel	Dreierbündel	Viererbündel
AL/ST 265/35	0.680 kA	1.360 kA	2.040 kA	2.720 kA
AL/ACS 265/35	0.690 kA	1.380 kA	2.070 kA	2.760 kA
AL/ACS 550/70	1.087 kA	2.174 kA	3.261 kA	4.348 kA

Tabelle 3: Technisch maximal zulässiger Dauerstrom I_D der im Vorhaben eingeplanten Leiterseile und Bündelleiter.

A.3 Isolatorketten

An Masten, an denen die Trasse gradlinig geführt wird, müssen Kräfte nur in die Vertikale aufgenommen werden. Diese Maste werden als Tragmaste mit Hängeketten ausgeführt. An diesen liegen die Seilaufhängepunkte um die Kettenlänge niedriger als die in den nachfolgenden Mast-

⁶ <https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze>

skizzen bemaßten Aufhängepunkte. An Masten, an denen die Trasse unter einem Winkel weitergeführt wird, sind zusätzlich Kräfte in der Horizontalen aufzunehmen. Hier kommen Winkelabspannmaste zum Einsatz. An diesen sind die Isolatorketten in guter Näherung Teil der Seildurchhangkurven. Die Seilaufhängepunkte können den nachfolgenden Mastskizzen direkt entnommen werden. Die gegebenenfalls in Abzug zu bringenden Kettenlängen sind in Abhängigkeit der Auslegungsnennspannung in Tabelle 5 angegeben.

Nennspannung	Kettenlänge
110 kV	1.9 m
220 kV	3.4 m
380 kV	5.0 m

Tabelle 4: Isolatorkettenlängen der unterschiedlichen Spannungsebenen

A.4 Leiterseilanordnungen

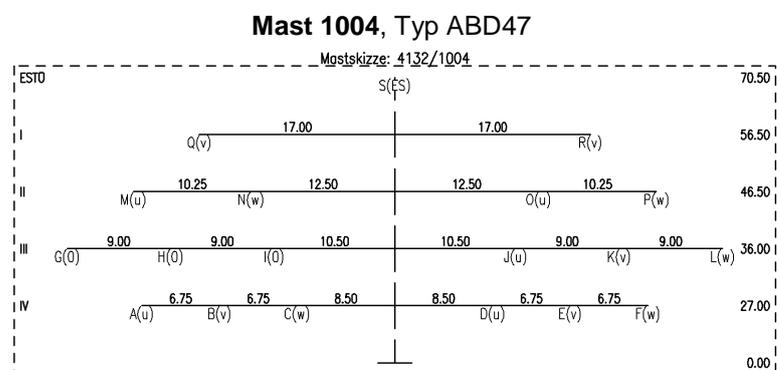
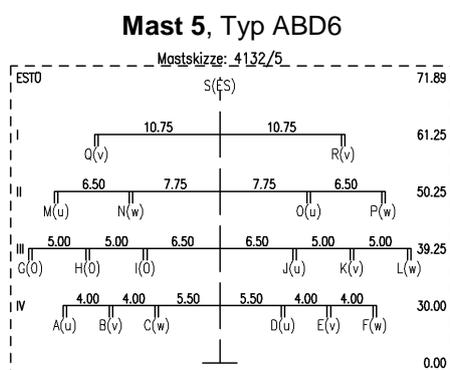
A.4.1 Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132

Seilbelegung

System	Seile	Bündel	Seiltyp	Nennspannung	Max. Stromstärke
1	ABC	1	AL/ST 265/35	110 kV ⁷	0.68 kA
2	DEF	1	AL/ST 265/35	110 kV	0.68 kA
3	GHI	2	AL/ST 265/35	220 kV	1.36 kA
4	JKL	2	AL/ST 265/35	220 kV	1.36 kA
5	MNQ	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
6	OPR	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
(ES)	S	1	AY/AW 216/33	–	–

Mastskizzen des betrachteten Abschnitts mit Phasenfolge

des Spannungsfeldes im Bereich des maßgeblichen Immissionsorts



⁷ 30-kV-Mittelspannungssystem, 110 kV isoliert

Seite 34 von 39

Die Seilaufhängung bei Mast 5 erfolgt an Tragketten. Die Kettenlängen sind entsprechend in Abzug zu bringen. Die Verortung der Masten ist der Anlage 7 der Planfeststellungsunterlage zu entnehmen. Der Seildurchhang beträgt 14.84 m in Spannfeldmitte.

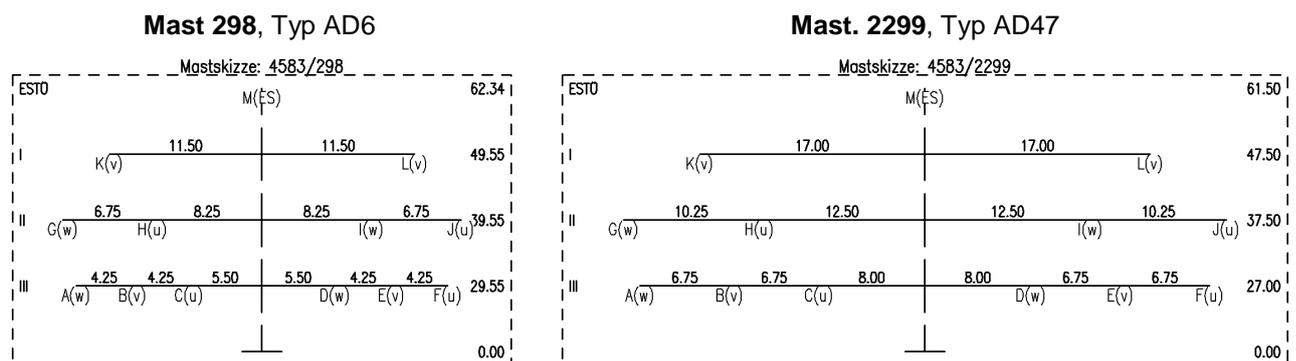
A.4.2 Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Hanekenfähr – Pkt. Merzen, Bl. 4583

Seilbelegung

System	Seile	Bündel	Seiltyp	Nennspannung	Max. Stromstärke
1	ABC	1	AL/ST 265/35	110 kV	0.68 kA
2	DEF	1	AL/ST 265/35	110 kV	0.68 kA
3	GHK	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
4	IJL	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
(ES)	M	1	AY/AW 216/33	–	–

Mastskizzen des betrachteten Abschnitts mit Phasenfolge

des Spannungsfeldes im Bereich des maßgeblichen Immissionsorts



Die Verortung der Masten ist der Anlage 7 der Planfeststellungsunterlage zu entnehmen. Der Seildurchhang beträgt 11.66 m in Spannfeldmitte.

A.4.3 Datenblatt der Hochspannungsfreileitung Pkt. Merzen – Wehrendorf, Bl. 4584

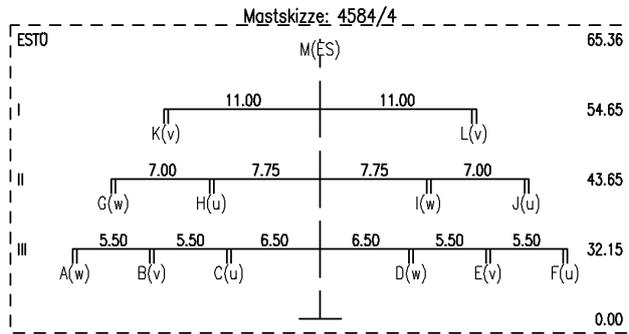
Seilbelegung

System	Seile	Bündel	Seiltyp	Nennspannung	Max. Stromstärke
1	ABC	2	AL/ST 265/35	220 kV	1.36 kA
2	DEF	1	AL/ST 265/35	110 kV	0.68 kA
3	GHK	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
4	IJL	4	AL/ST 265/35	380 kV	2.72 kA
(ES)	M	1	AY/AW 216/33	–	–

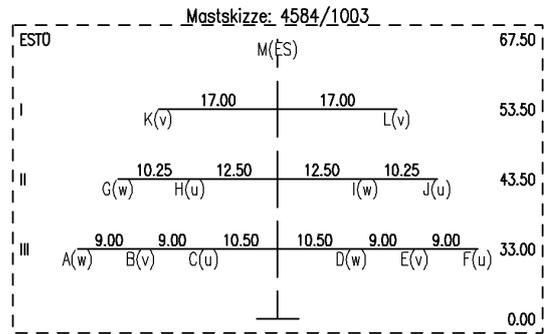
Mastskizzen des betrachteten Abschnitts mit Phasenfolge

des Spannungsfeldes im Bereich des maßgeblichen Immissionsorts

Mast 4, Typ BD6



Mast 1003, Typ BD46



Die Seilaufhängung bei Mast 4 erfolgt an Tragketten. Die Kettenlängen sind entsprechend in Abzug zu bringen. Die Verortung der Masten ist der Anlage 7 der Planfeststellungsunterlage zu entnehmen. Der Seildurchhang beträgt 4.12 m in Spannfeldmitte.

A.4.4 Datenblatt der temporär zu errichtende Freileitungsprovisorien

Seilbelegung

System	Seile	Bündel	Seiltyp	Nennspannung	Max. Stromstärke
1	ABC	4	AL/ACS 265/35	380 kV	2.76 kA
(ES)	M	1	AY/AW 216/33	–	–

Mastskizzen der betrachteten Abschnitte

Provisorischer Mast P2, Typ D-AMP 2-16-22	Provisorischer Mast P3, Typ D-AMP 2-16-22
<p>Mastskizze: 4132/P2</p>	<p>Mastskizze: 4132/P3</p>

Die Verortung der Masten ist der Anlage 11 der Planfeststellungsunterlage zu entnehmen. Der Seildurchhang beträgt 11.52 m in Spannfeldmitte.

B Verzeichnisse

B.1 Fachliteratur und Normen

- [1] J. D. Jackson, *Klassische Elektrodynamik*, 3 Hrsg., Berlin: Walter de Gruyter, 2002.
- [2] P. Bauhofer, *Handbuch für Hochspannungsleitungen: niederfrequente elektromagnetische Felder und deren wirksame Reduktion*, Wien: Verband d. Elektrizitätswerke Österreichs, 1994.
- [3] D. Oeding und B. R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Hrsg., Heidelberg: Springer, 2013.
- [4] Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH, *Benutzerhandbuch WinField (R) - Magnetic and Electric Field Calculation*, Berlin, 2019.
- [5] *DIN EN 50413 (VDE 0848-1): Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2018*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [6] *DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 1: Allgemeine Anforderungen - gemeinsame Festlegung*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [7] *DIN EN 50341-2 (VDE 0210-2): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 2: Index der NNA (Nationale Normative Festsetzung)*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [8] *DIN EN 50341-2-4 (VDE 0210-2-4): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 2-4: Nationale Normative Festsetzungen (NNA)*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [9] Badenwerk Karlsruhe AG, „Hochspannungsleitungen und Ozon,“ *Fachberichte 88/2 der Badenwerke AG*, Karlsruhe, 1988.
- [10] *DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [11] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, „ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz - 100 kHz),“ *Health Physics*, Bd. 99, Nr. 6, pp. 818-836, 2010.
- [12] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [13] Strahlenschutzkommission, „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern,“ gebilligt in der 174. Sitzung der Strahlenschutzkommission, 2001.
- [14] Strahlenschutzkommission, „Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung,“ verabschiedet in der 221. Sitzung der Strahlenschutzkommission, 2008.
- [15] Wolfram Research Inc., *Mathematica*, 11.3 ed., Champaign, Illinois: Wolfram Research, Inc., 2018.
- [16] Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE, *Minimierung elektrischer und magnetischer Felder*, 2 Hrsg., Berlin: VDE, 2017.

B.2 Abbildungen

Abbildung 1:	Darstellung des Planungsbereichs des Vorhabens Leitungseinführung UA Merzen (Auszug aus Anlage 2, Blatt 1 der Planfeststellungsunterlage)	4
Abbildung 2:	Darstellung des Planungsbereichs des Vorhabens Leitungseinführung UA Merzen (Auszug aus Anlage 2, Blatt 1 der Planfeststellungsunterlage) mit nächstgelegenen maßgeblichen Minimierungsorten (MO) 1 und 2 sowie zugehörige Bezugspunkte (BP).	14
Abbildung 3:	Auszug aus der EMF-Datenbank der BNetzA, gefiltert nach Standorten von Funksendeanlagen bis 10 MHz. Quelle: https://emf3.bundesnetzagentur.de , Abgerufen: 11.07.2019 13:53	18
Abbildung 4:	Grundformen der Mastkopfgeometrien. V.l.n.r.: Einebene (a), Tonne (b), Donau (c).....	25

B.3 Tabellen

Tabelle 2:	Elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte an Bezugspunkte der maßgeblichen im Bereich der Freileitung Pkt. Merzen – Westerkappeln, Bl. 4132	15
Tabelle 3:	Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetz eingesetzten Spannungsebenen. Im Rahmen von Prognosen ist die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ anzusetzen.	32
Tabelle 4:	Technisch maximal zulässiger Dauerstrom I_D der im Vorhaben eingeplanten Leiterseile und Bündelleiter.....	32
Tabelle 5:	Isolatorkettenlängen der unterschiedlichen Spannungsebenen	33

B.4 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
Abs.	Absatz
AL/ST	Seilbezeichner: Aluminium-Stahl-Seil
BEK	Baueinsatzkabel
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Eine Verordnung zur Durchführung des BImSchG
Bl.	Bauleitnummer
BNetzA	Bundesnetzagentur
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
EOK	Erdbodenoberkante

Abkürzung Bedeutung

EU	Europäische Union
ff	fortfolgende
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
i.d.F.	in der Fassung
i.S.	im Sinne
i.V.m.	in Verbindung mit
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, englisch: Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
n.F.	neue Fassung
Nr. / Nrn.	Nummer / Nummern
o.g.	oben genannt
Pkt.	Punkt
rd.	rund
S.	Satz
sog.	so genannt
T	Tragmast
UA	Umspannanlage
VDE	VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
vgl.	vergleiche
WA	Winkel-/Abspannmast
WE	Winkel-/Endmast
z.B.	zum Beispiel

B.5 Formelzeichen

In diesem Bericht verwendete Formelzeichen werden kursiv gesetzt. Indizes werden, sofern sie eine Spezifizierung darstellen (z.B.: Betriebsspannung U_b), grade gesetzt. Kursiv gesetzte Indizes stellen ebenfalls Formelzeichen (z.B. der frequenzabhängige Grenzwert G_f) dar. Physikalische Größen werden in SI-Einheiten⁸ in der typischer Weise verwendeten Größenordnung angegeben.

⁸SI: Système international d'unités (französisch: Internationales Einheitensystem)

Zeichen	Bedeutung
B	Magnetische Flussdichte; in Mikrottesla (μT)
E	Elektrische Feldstärke; in Kilovolt pro Meter (kV/m)
f	Frequenz; in Hertz (Hz)
G_f	Grenzwert bei der Frequenz f
I, I_D	Elektrische Stromstärke, maximal zulässige Dauerstromstärke; in Ampere (A) oder Kiloampere (kA)
r, s, x	Abstand oder Länge; in Meter (m)
U, U_b	Elektrische Spannung, Betriebsspannung; in Kilovolt (kV)
W_f	Immissionswert bei der Frequenz f