

Immissionsschutzbericht



Nr. B0054

zur Prognose magnetischer Feldimmissionen und
deren Minimierung im geplanten Vorhaben

Neubau der 110-kV-Hochspannungserdkabeltrasse Bl. 0658
UA Welschgraben (Standort Kriftel) – UA IPH-West

Nachrichtliche Unterlage

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

Ausgestellt: 05.07.2024

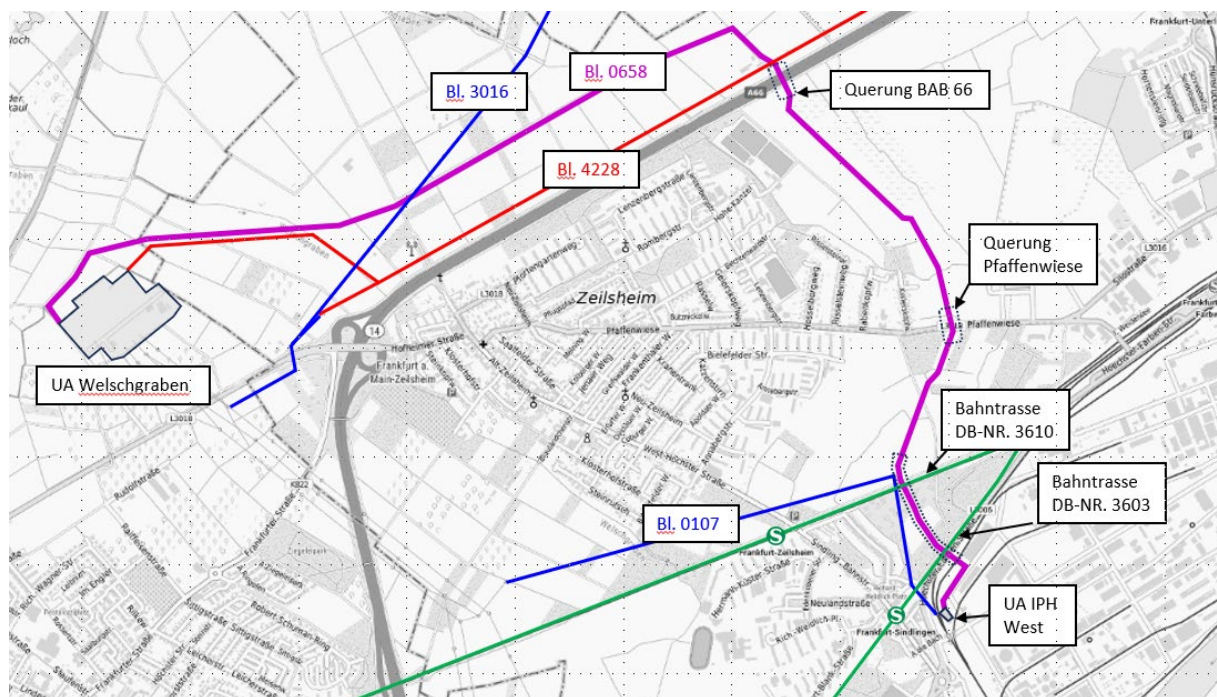
Dieses Dokument besteht aus 35 Seiten.
Registratur: G-TI-P/SR DIS700680620

Amprion GmbH – Portfoliobearbeitung Immissionsmanagement Leitungen

Inhaltsverzeichnis

1	Einführender Teil	3
1.1	Physikalische Grundlagen.....	5
1.1.1	Das elektrische Feld von Hochspannungserdkabeln -& freileitungen	5
1.1.2	Das magnetische Feld von Hochspannungserdkabeln & -freileitungen	6
1.2	Gesetzliche Anforderungen an Niederfrequenzanlagen.....	6
1.2.1	26. BImSchV	7
1.2.2	26. BImSchVVwV	7
2	Anlagenbeschreibung.....	9
2.1	Technische Abschnitte	9
2.2	Technische Parameter	11
2.2.1	Geplante Wechselstromerdkabelverbindung Bl. 0658	11
2.2.2	Masttypen und Stromkreisbelegung parallel & kreuzender Freileitungen ...	14
3	Ermittlung	18
3.1	Methodik	18
3.2	Maßgebliche Immissionssorte	19
3.3	Maßgebliche Minimierungsorte.....	20
4	Ergebnisse	22
4.1	Anforderungen zum Schutz.....	22
4.2	Immissionsbetrachtungen	22
4.2.1	Drehstromerdkabel UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658	22
4.2.2	Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden.....	24
4.3	Anforderungen zur Vorsorge	24
4.3.1	Minimierungsgebot	24
4.3.2	Vorprüfung	24
4.3.3	Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen	24
5	Angaben zur Qualität.....	29
6	Fazit	30
A	Verzeichnisse	31
A.1	Fachliteratur, Gesetze und Normen	31
A.2	Abbildungen	32
A.3	Tabellen	32
A.4	Abkürzungen	34
A.5	Formelzeichen	35

Die geplante 5,7 km lange 110-kV-Erdkabelverbindung soll dabei die Umspannanlage (UA) Welschgraben (Standort Kriftel) mit der UA IPH-West im Industriepark Höchst (Stadt Frankfurt am Main) verbinden. Gegenstand des hier vorliegenden Immissionsschutzberichtes ist ausschließlich die Erdkabelverbindung ab dem Anlagenzaun der UA Kriftel bis zur Gebäudekante der neu zu errichtenden UA IPH-West auf dem Gelände des IPH-West. Die UA Welschgraben wird neu auf dem Gelände der UA Kriftel errichtet.



Eine detaillierte Beschreibung und Darstellung des Vorhabens ist dem Erläuterungsbericht (Anlage 01) sowie dem Übersichtsplan im Maßstab 1:25000 (Anlage 02) zu entnehmen.

Das geplante Vorhaben umfasst den Neubau von Hochspannungserdkabeln mit einer Netzfrequenz von 50 Hz und einer Nennspannung größer 1 kV. Hochspannungsleitungen sind gem. § 4 Abs. 1 BImSchG i.V.m. der 4. BImSchV nicht genehmigungsbedürftige Anlagen [1] [2]. Dennoch sind insbesondere die Betreiberpflichten nach § 22 BImSchG zu beachten. Hochspannungserdkabel stellen Niederfrequenz- oder Gleichstromanlagen gem. § 1 Abs. 2 der 26. BImSchV dar [3]. Im Folgenden werden die im Rahmen der geplanten Errichtung der Hochspannungsleitungen zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder rechnerisch prognostiziert und die Zulässigkeit des Vorhabens bezüglich der Anforderungen der 26. BImSchV untersucht.

Die rechtlichen, fachlichen und technischen Grundlagen hierfür basieren auf:

- 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 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202)
- Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 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
- FNN-Hinweis: Minimierung elektrischer und magnetischer Felder, 2. Ausgabe Februar 2017, Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE, Berlin
- WinField – Electric and Magnetic Field Calculation, Version 2023 (Build 3226) der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie – FGEU mbH, Berlin
- 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 50413:2020, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland. Ausgabe Juli 2022. <https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze>
- Handlungsempfehlungen für EMF- und Schallgutachten zu Hoch- und Höchstspannungstrassen in Bundesfachplanungs-, Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren, Stand Januar 2022, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz

Die für diesen Immissionsbericht verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erfüllen aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung, jahrelangen Berufserfahrung sowie einschlägiger Kenntnisse in Mess- und Berechnungsverfahren die Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern [4]. Die entsprechenden Nachweise liegen der Amprium GmbH vor.

1.1 Physikalische Grundlagen

Beim Betrieb von Höchstspannungsleitungen treten elektrische und magnetische Felder auf. Je nach Frequenz von Spannung und Strom handelt es sich um statische und/oder niederfrequente Felder. Sie entstehen in unmittelbarer Nähe von spannungs- bzw. stromführenden Leitern. Die Feldstärken lassen sich messen und berechnen. Die theoretische Grundlage bietet die von James Clerk Maxwell Mitte des 19. Jahrhunderts begründete, klassische Elektrodynamik mit den nach ihm benannten Maxwell-Gleichungen [5]. Elektrische und magnetische Felder bei Niederfrequenz wie der Energieversorgung sind voneinander entkoppelt und werden daher getrennt in quasistationärer Näherung betrachtet. Ebenso sind etwaige Niederfrequenzanlagen anderer Betriebsfrequenzen getrennt zu betrachten. Im Fall von Drehstromleitungen wechseln die elektrischen und magnetischen Felder ihre Polarität mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz); im Fall von Bahnstromfernleitungen mit einer Frequenz von 16,7 Hz.

1.1.1 Das elektrische Feld von Hochspannungserdkabeln -& freileitungen

Ursache niederfrequenter elektrischer Felder sind spannungsführende Leiter in elektrischen Geräten ebenso wie Leitungen zur elektrischen Energieversorgung. Das elektrische Feld tritt immer schon dann auf, wenn elektrische Energie bereitgestellt wird. Es resultiert aus der Betriebsspannung einer Leitung und ist deshalb nahezu konstant. Das elektrische Feld ist unabhängig von der Stromstärke.

Das elektrische Feld wird durch leitfähige Gegenstände wie Bäume, Büsche oder Bauwerke beeinflusst. Daher können 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 in Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

Das elektrische Feld wird bei den in diesem Vorhaben verwendeten Hochspannungserdkabeln, in welchen der stromführende Leiter und das Isoliersystem von einem elektrisch leitfähigen Schirm aus Einzeldrähten und einem durchgängigen Metallmantel aus Aluminium umhüllt sind, vollständig abgeschirmt. Beim Betrieb der Erdkabelverbindungen sind demnach keine elektrischen Felder an der Erdoberfläche nachweisbar.

Die Stärke des elektrischen Feldes ist bei Höchst- und Hochspannungsfreileitungen 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. Daraus resultiert, dass in der Spannfeldmitte die größten Feldstärken am Erdboden auftreten. Entsprechend treten in Mastnähe die geringsten Feldstärken auf. Noch ausgeprägter sinkt die Feldstärke mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Freileitung. In diesem Vorhaben verlaufen Höchst- und Hochspannungsfreileitungen sowie Bahnstromleitungen parallel als auch querend zur geplanten Erdkabeltrasse.

1.1.2 Das magnetische Feld von Hochspannungserdkabeln & -freileitungen

Magnetische Felder treten nur dann auf, wenn elektrischer Strom fließt. Der Betriebsstrom, der durch Erdkabelleitungen und Freileitungen fließt, ist im Gegensatz zur Spannung nicht konstant. Er schwankt je nach Verbrauch, d.h. Last tageszeiten-, jahreszeiten- und witterungsabhängig. Bei den Bahnstromleitungen ist der Betriebsstrom stark vom laufenden Fahrbetrieb der Bahnen abhängig und schwankt daher noch stärker. Im gleichen Verhältnis wie die Stromänderung ändert sich auch die Stärke des Magnetfeldes.

Die magnetische Flussdichte ist am Erdboden dort am höchsten, wo die Erdkabel dem Boden am nächsten sind, also bei der geringsten Verlegetiefe. Weiterhin sind die Abstände der Erdkabel untereinander bestimmend für die Größe des resultierenden magnetischen Feldes. Mit zunehmender Tiefe der Erdkabel und mit zunehmendem seitlichem Abstand nimmt die Feldstärke sehr schnell ab.

Im Fall von Höchst- & Hochspannungsfreileitungen 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, die eine hohe Permeabilität besitzen, beeinflusst werden. Dies ist großflächig, etwa bei Gebäuden, nicht praktikabel.

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

1.2 Gesetzliche Anforderungen an Niederfrequenzanlagen

Die Festlegung von Grenzwerten zur Gewährleistung einer hohen Sicherheit der Bevölkerung obliegt dem Gesetzgeber. Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische und magnetische Felder hat er Anforderungen in der sechszehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgesetzt [3]. 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 wider [6, 7].

1.2.1 26. BImSchV

Die 26. BImSchV ist seit dem 16. Dezember 1996, zuletzt novelliert am 14. August 2013, im deutschen Recht verankert und für Freileitungen sowie Erdkabel der Hoch- & Höchstspannungsebene verbindlich 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

Betriebsfrequenz f	Elektrische Feldstärke E	Magnetische Flussdichte B
16,7 Hz	5 kV/m	300 μ T
50 Hz	5 kV/m	100 μ T

Tabelle 1: Grenzwerte für 16,7-Hz- und 50-Hz-Anlagen

einer Frequenz von 50 Hz die Hälfte des in Anhang 1a der 26. BImSchV genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten dürfen. Die Grenzwerte für das elektrische und magnetische Feld sind in Tabelle 1 für 16,7-Hz- und 50-Hz-Anlagen zusammengefasst.

Die Immissionsbeiträge $I(f)$ der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten von allen Niederfrequenzanlagen, sowie von ortfesten Hochfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 9 kHz bis 10 MHz, sind nach Frequenzkomponenten getrennt zu bestimmen und mit dem jeweiligen Grenzwert $G(f)$ zu gewichten. Die gewichteten Summen müssen nach Anhang 2a der 26. BImSchV getrennt für das elektrische und das magnetische Feld folgende Bedingung erfüllen:

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

Des Weiteren sind nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV zum Zwecke der Vorsorge bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik zu minimieren. Das Nähere regelt die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchV-VVwV) [8].

1.2.2 26. BImSchVVwV

Das Ziel des Minimierungsgebots nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV ist es, die von Niederfrequenzanlagen 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. Als maßgebliche Minimierungsorte gelten Gebäude, Gebäudeteile oder Grundstücke, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, insbesondere

Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen.

Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt dabei individuell für die geplante Niederfrequenzanlage. Das Minimierungsgebot verlangt jedoch keine Prüfung nach dem im Energiewirtschaftsrecht verankerten sogenannten NOVA-Prinzip (Netzoptimierung vor Netzverstärkung vor Netzausbau) und keine Alternativenprüfung (z.B. Erdkabel statt Freileitung), alternative Trassenführung oder Standortalternativen, die nach den sonstigen Rechtsvorschriften, insbesondere nach dem Planfeststellungsrecht, erforderlich sein können. Es sind Minimierungsmaßnahmen dann zu prüfen, wenn sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungs-ort im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage befindet. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig betrachtet.

In Abhängigkeit der geplanten Niederfrequenzanlagen kann die Anwendung mehrerer Minimierungsmaßnahmen in Betracht kommen. Soweit deren gemeinsame Anwendung ausscheidet, ist eine Auswahl anhand der in der 26. BImSchVVwV 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 Niederfrequenzanlagen die Minimierung des magnetischen Feldes zu bevorzugen. Eine Maßnahme kommt als Minimierungsmaßnahme nicht in Betracht, wenn sie zu einer Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort führen würde.

Bei der Auswahl der Minimierungsmaßnahmen ist insbesondere der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, indem Aufwand und Nutzen der möglichen Maßnahmen betrachtet werden. Zudem sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen.

Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt in drei Teilschritten: einer Vorprüfung nach Nr. 3.2.1, einer Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen nach Nr. 3.2.2 und einer Maßnahmenbewertung nach Nr. 3.2.3 der 26. BImSchVVwV.

2 Anlagenbeschreibung

Grundlage für die Ermittlung und Bewertung der elektrischen und magnetischen Felder an den Immissions- und Minimierungsorten ist der Verlauf der Trasse sowie die technischen und elektrischen Konfigurationen der Höchst- & Hochspannungsleitungen. In Anlage 10.1.3 ist der Trassenverlauf des gesamten Vorhabens kartografisch dargestellt (M 1:2000). Die Katasterpläne basieren auf den Geobasisdaten der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (<https://hvbh.hessen.de>). Dargestellt sind die verschiedenen Leitungsabschnitte des gegenständlichen Vorhabens sowie alle zu berücksichtigenden sich in Parallel- oder Querlage befindenden Freileitungen.

Das Vorhaben lässt sich in zwei technische Abschnitte (TA) gliedern, die sich bei der Erdkabeltrasse durch die offene und geschlossene Bauweise ergeben. Ein gleichartiger technischer Abschnitt kann dabei an unterschiedlichen räumlichen Abschnitten vorliegen und kann von anderen technischen Abschnitten unterbrochen werden. Entlang des gesamten Verlaufs des Wechselstromerdkabels finden mehrfach Wechsel zwischen offener und geschlossener Bauweise statt. Um die daraus resultierenden unterschiedlichen Kabelanordnungen und Verlegetiefen zu berücksichtigen sowie die parallele und kreuzende Führung zu bestehenden Wechselstromsystemen abzubilden, werden die zwei technischen Abschnitte in Unterabschnitte entsprechend der jeweiligen Bauart unterteilt. Bei der offenen Bauweise sind die Kabelabstände entsprechend des Regelgrabenprofils geplant (Anlage 01, Anlage 04). Bei dem geschlossenen Verfahren kommt die Bauweise des Rohrvortriebs (Mikrotunnelbau) zum Einsatz (Anlage 01, Anlage 05).

2.1 Technische Abschnitte

Zur Verortung der technischen Abschnitte in den Lageplänen werden pro technischem Abschnitt die einzelnen Kabelabschnitte, die zu diesem technischen Abschnitt gehören, mit Hilfe der Stationierungslinien aufgelistet. Die Unterscheidung der Bereiche unterschiedlicher Bauweisen ist den Lageplänen im Maßstab 1:2000 (Anlage 03) zu entnehmen.

Die Beschreibung der Trassenverläufe der neu zu errichtenden Erdkabelanlage erfolgt von Nordwest (UA Welschgraben) nach Südost (UA IPH-West) in Richtung aufsteigender Stationierungslinien. Dementsprechend erfolgt die Nummerierung der maßgeblichen Immissionssorte und der maßgeblichen Minimierungsorte oder Betrachtungsorte ebenfalls in Richtung aufsteigender Stationierungslinien (SL).

Im **ersten technischen Abschnitt (TA1)** verläuft die Erdkabeltrasse in offener Bauweise. Dabei wurde der TA1 in folgende Unterabschnitte gegliedert:

Der **erste technische Unterabschnitt (TA1a)** beginnt am Anlagenzaun der UA Kriftel (SL 0+100) und verläuft in offener Bauweise entsprechend dem Regelgrabenprofil ohne zu berücksichtigende parallele oder querende Leitungen bis zur UA IPH-West. Dieser technische Unterabschnitt wird an mehreren Stellen entlang des Trassenverlaufs durch andere technische Unterabschnitte unterbrochen. Folgende Trassenabschnitte werden dem TA1 zugeordnet (ungefähre Angaben):

~ SL_0+100 bis SL_0+650

~ SL_1+300 bis SL_1+600

~ SL_1+800 bis SL_2+000

~ SL_2+050 bis SL_3+100

~ SL_3+300 bis SL_4+400

~ SL_4+450 bis SL_5+000

~ SL_5+450 bis SL_5+675

Im **zweiten technischen Unterabschnitt (TA1b)** verläuft die Erdkabeltrasse in offener Bauweise als Regelgrabenprofil über ca. 650 m parallel entlang der Spannfelder von Mast 1A bis Mast 1C der bestehenden 110 /380 kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228). Nach Querung des Welschgrabens verlässt die Erdkabeltrasse die Parallelführung mit der Bl. 4228 (ungefähre Angabe):

~ SL_0+650 bis SL_1+300

Im **dritten technischen Unterabschnitt (TA1c)** kreuzt die Erdkabeltrasse in offener Bauweise als Regelgrabenprofil die 110 kV-Hochspannungsfreileitung Pkt. Hattersheim – Bommersheim - Abschnitt Pkt. Zeilsheim – Kriftel (Bl. 3016) der Syna GmbH im Spannungsfeld zwischen Mast 1013 und Mast 1014 (ungefähre Angabe):

~ SL_1+600 bis SL_1+800

Im **vierten technischen Unterabschnitt (TA1d)** quert die Erdkabeltrasse über 50 m eine Streuobstwiese in offener Bauweise als Rohrvortrieb (ungefähre Angabe):

~ SL_2+000-2+050

Die Verlegeanordnung der beiden Kabelsysteme entspricht hier nicht dem Regelgrabenprofil, sondern der in Abbildung 3 skizzierten Anordnung, wie sie für die geschlossene Bauweise im zweiten technischen Abschnitt ausgeführt wird.

Im **fünften technischen Unterabschnitt (TA1e)** nähert sich die Erdkabeltrasse in offener Bauweise als Regelgrabenprofil der zu ihr quer verlaufenden, bestehenden 110 /380 kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228) im Spannungsfeld zwischen Mast 5 und Mast 6 an (ungefähre Angabe):

~ SL_3+100 bis SL_3+250

Unterhalb der Freileitungstrasse wechselt die Erdkabeltrasse von der offenen Bauweise in die geschlossene Bauweise als Rohrvortrieb (siehe TA2a). Für die technischen Unterabschnitte TA1a bis TA1c und TA1e gilt die in Abbildung 2 dargestellte Verlegeanordnung mit den in Tabelle 2-2 genannten technischen Daten. Für den Unterabschnitt TA1d gilt die in Abbildung 3 dargestellte Verlegeanordnung mit den in Tabelle 2-3 genannten technischen Daten.

Im **zweiten technischen Abschnitt (TA2)** verläuft die Erdkabeltrasse in geschlossener Bauweise als Rohrvortrieb. Dabei wurde der TA2 in folgende Unterabschnitte gegliedert:

Im **ersten technischen Unterabschnitt (TA2a)** quert die Erdkabeltrasse die Bl. 4228 und die Bundesautobahn A 66 in geschlossener Bauweise als Rohrvortrieb.

SL_3+250 bis SL_3+300

Im **zweiten technischen Unterabschnitt (TA2b)** quert die Erdkabeltrasse die Pfaffenwiese/Landstraße L 3018 in geschlossener Bauweise als Rohrvortrieb. In diesem Abschnitt verlaufen keine zu berücksichtigenden Hoch- oder Höchstspannungsleitungen parallel zu dem in diesem Bericht geprüften Vorhaben (ungefähre Angabe):

SL_4+400 bis SL_4+450.

Im **dritten technischen Unterabschnitt (TA2c)** quert die Erdkabeltrasse über ca. 450 m zwei Bahntrassen mit Oberleitung (S-Bahnlinie und Regionalexpress, 15 kV @ 16.7 Hz DB-Nr. 3603 und 3610) sowie Flächen der Infraserb und Kleingärten in geschlossener Bauweise als Rohrvortrieb. Die Erdkabeltrasse wird in diesem Abschnitt von der bestehenden 110-kV-Freileitung Anschluss Farbwerke Höchst West der Syna GmbH (Bl. 0107) begleitet. Die Freileitung nähert sich aus südwestlicher Richtung kommend der Erdkabeltrasse mit Mast 10 bis auf einen Abstand von ca. 16 Metern an, um sich dann ab Mast 10 in südlicher Richtung bis auf mehr als 150 m wieder von der Erdkabeltrasse zu entfernen und schließlich in der UA IPH-West zu enden (ungefähre Angabe):

SL_5+000 bis SL_5+450

Für alle beschriebenen Unterabschnitte des zweiten technischen Abschnittes gilt die in Abbildung 3 dargestellte Verlegeanordnung. Die dazugehörigen technischen Daten sind in Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 aufgeführt.

2.2 Technische Parameter

Die maßgeblichen technischen Parameter hinsichtlich der Immissionen elektrischer und magnetischer Felder sind Spannung und Stromstärke. Die im Zuge der Vorgaben des Immissionsschutzes zu betrachtende höchste betriebliche Anlagenauslastung wird nach den LAI-Hinweisen [9] mittels einer technischen Grenze definiert.

Im Folgenden werden die technischen Parameter der Erdkabelleitung Bl. 0658 in Kapitel 2.2.1 und der kreuzenden sowie parallelen Freileitungen in Kapitel 2.2.2 näher erläutert.

2.2.1 Geplante Wechselstromerdkabelverbindung Bl. 0658

Die Übertragungsleistung von Hochspannungserdkabeln hängt, unabhängig davon, ob es sich um Drehstrom- oder Gleichstromerdkabel handelt, von verschiedenen Faktoren ab, die bei der Dimensionierung der Erdkabel zu beachten sind. Diese sind z.B. die zugehörigen Lastfaktoren, der Leiteraufbau, die Verlegetiefe, die Anordnung der Erdkabel (im Dreieck oder nebeneinander), der Abstand der Erdkabel untereinander, der Abstand zu den parallel geführten Systemen, die Anzahl parallelgeführter Systeme, die Wärmeleitfähigkeit der Isolierung und des Erdreiches sowie die Temperatur im umgebenden Erdreich. In Kapitel 6 der Anlage 01 Erläuterungsbericht ist der Aufbau eines Erdkabels beispielhaft dargestellt.

Die elektrische Feldstärke wird durch die anliegende Spannung hervorgerufen. Zur Ermittlung der höchsten betrieblichen Anlagenauslastung ist daher die höchste zulässige Spannung heranzuziehen. In den Drehstromnetzen der Verteil- und Übertragungsebenen in Deutschland kommen drei Spannungsebenen mit den Nennspannungen 110 kV, 220 kV und 380 kV zum Einsatz. Die Anforderungen an die Nennspannung der verschiedenen Hoch- und Höchstspannungsebenen sind in der Norm DIN EN 50160 [10] definiert. Demnach sind die zulässigen Spannungsbereiche gemäß Tabelle 2-1 zur Gewährleistung der Spannungsqualität in den unterlagerten Netzen einzuhalten.

Tabelle 2-1: Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetzen eingesetzten Spannungsebenen

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

Im Sinne der höchsten betrieblichen Anlagenauslastung sind entsprechend hinsichtlich der Spannung in den Drehstromsystemen die Werte der „höchsten Betriebsspannung“ aus Tabelle 2-1 maßgeblich. Bei den hier betrachteten Wechselstromsystemen des Vorhabens UA Welschgraben – UA IPH-West beträgt die Nennspannung 110 kV. Für die elektrische Feldstärke beträgt die zu Grunde zu legende höchste betriebliche Anlagenauslastung somit 123 kV. Wie in Kapitel 1.1.1 bereits erläutert, wird das elektrische Feld vom äußeren Kabelschirm vollständig abgeschirmt. Für die 110-kV-Hochspannungserdkabel werden insgesamt sechs Kabelstränge (je Kabelsystem drei Kabelstränge) vom Typ N2XS(FL)2Y 1x 2500EN oder vergleichbare Kabeltypen in zwei Dreiecksbündeln zum Einsatz kommen. Vor dem Hintergrund der beschriebenen Faktoren zur Übertragungsleistung beträgt die Stromfähigkeit der im Vorhaben geplanten Hochspannungserdkabel jeweils 1260 A.

Die Verlegung der Erdkabel für die Trasse Bl. 0658 erfolgt zum größten Teil nach der in Abbildung 2 dargestellten offenen Bauweise als Regegrabenprofil (TA1a bis TA1c und TA1e). Im vierten technischen Unterabschnitt TA1d erfolgt die Verlegung ebenfalls in der offenen Bauweise, wobei die Kabelanordnung ähnlich der geschlossenen Bauweise folgt (Abbildung 3).

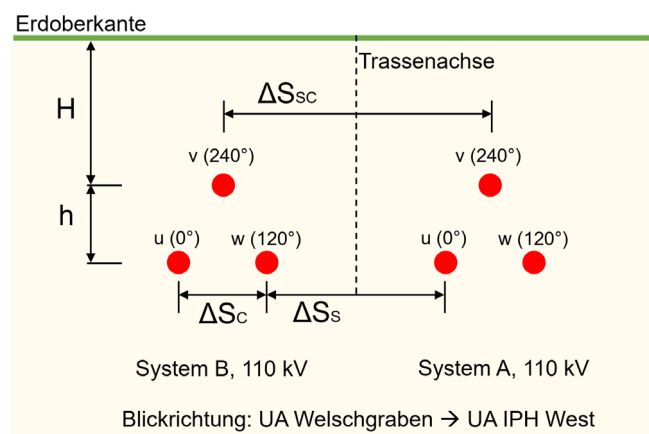


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Regelgrabenprofils (offene Bauweise) der Erdkabelverbindung Bl. 0658 mit Benennung der Systeme, Abstände und Phasenführung.

Für die restlichen Trassenabschnitte verläuft die Erdkabeltrasse nach der in Abbildung 3 dargestellten geschlossenen Bauweise als Rohrvortrieb (siehe TA2a bis TA2c). Die geschlossene Bauweise untergliedert sich dabei in Unterabschnitte mit anderen Verlegetiefen und Kabelanordnungen (siehe Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4).

Tabelle 2-2: Technische Parameter bei der Verlegung im Regelgrabenprofil im ersten technischen Abschnitt (TA1a bis TA1c und TA1e).

Technische Parameter		System	Wert
U	Maximal zulässige Betriebsspannung	A, B	123 kV
I_d	Maximaler betrieblicher Dauerstrom	A, B	1260 A
f	Frequenz	A, B	50 Hz
H	Tiefe des Erdkabelsystems H (oberstes Kabel, Dreiecksanordnung)	A, B	1,50 m
h	Vertikaler Abstand h zwischen der oberen und unteren Kabelebene	A, B	0,21 m
ΔS_c	Horizontaler Abstand zwischen Kabeladern eines Systems (untere Kabelebene)	A, B	0,25 m
ΔS_s	Horizontaler Abstand zwischen den benachbarten Kabelsystemen (untere Kabelebene)	A, B	0,85 m
ΔS_{sc}	Horizontaler Abstand zwischen benachbarten Kabelsystemen (obere Kabelebene)	A, B	1,10 m

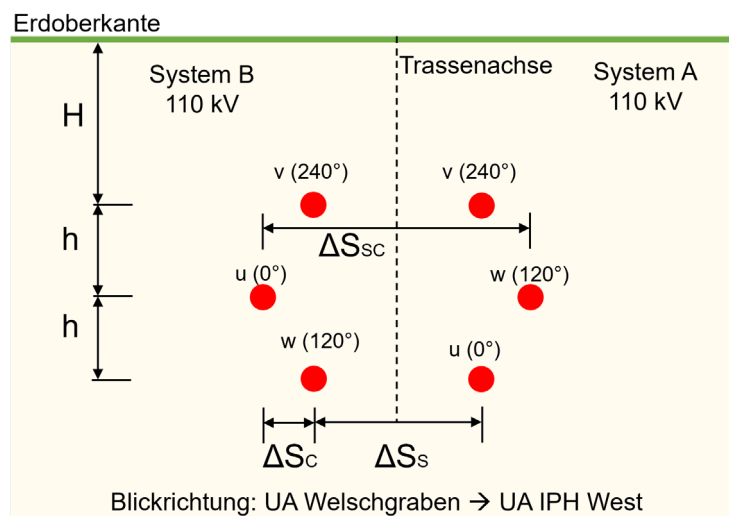


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Kabelanordnung (geschlossene Bauweise, Rohrvortrieb) der Erdkabelverbindung Bl. 0658 mit Benennung der Systeme, Abstände und Phasenführung.

Tabelle 2-3: Technische Parameter bei der Verlegung in der offenen Bauweise im technischen Unterabschnitt TA1d und in der geschlossenen Bauweise als Rohrvortrieb in den technischen Abschnitten TA2a und TA2b.

Technische Parameter		System	Wert
U	Maximal zulässige Betriebsspannung	A, B	123 kV
I_d	Maximaler betrieblicher Dauerstrom	A, B	1260 A
f	Frequenz	A, B	50 Hz
H	Tiefe des Erdkabelsystems H (obere Kabelebene) für TA1d	A, B	2.30 m
	Tiefe des Erdkabelsystems H (obere Kabelebene) für TA2a & TA2b	A, B	4.10 m
h	Vertikaler Abstand h zwischen den Kabeln eines Systems	A, B	0,36 m
ΔS_C	Horizontaler Abstand zwischen Kabeladern eines Systems	A, B	0,21 m
ΔS_S	Horizontaler Abstand zwischen den benachbarten Kabelsystemen (obere & untere Kabelebene)	A, B	0.42 m
ΔS_{SC}	Horizontaler Abstand zwischen benachbarten Kabelsystemen (mittlere Kabelebene)	A, B	0,84 m

Tabelle 2-4: Technische Parameter bei der Verlegung in der geschlossenen Bauweise Rohrvortrieb im technischen Abschnitt TA2c. Abstände werden von der Erdkabelachse aus angegeben.

Technische Parameter		System	Wert
U	Maximal zulässige Betriebsspannung	A, B	123 kV
I_d	Maximaler betrieblicher Dauerstrom	A, B	1260 A
f	Frequenz	A, B	50 Hz
H	Tiefe des Erdkabelsystems H (obere Kabelebene) für TA2c	A, B	4,40 m
h	Vertikaler Abstand zwischen den Kabeln eines Systems	A, B	0,52 m
ΔS_C	Horizontaler Abstand zwischen Kabeladern eines Systems	A, B	0,30 m
ΔS_S	Horizontaler Abstand zwischen den benachbarten Kabelsystemen (obere & untere Kabelebene)	A, B	0.60 m
ΔS_{SC}	Horizontaler Abstand zwischen benachbarten Kabelsystemen (mittlere Kabelebene)	A, B	1,20 m

2.2.2 Masttypen und Stromkreisbelegung parallel & kreuzender Freileitungen

Entlang des geplanten Trassenverlaufs der Erdkabelleitung UA Welschgraben – UA IPH-West (Bl. 0658) werden mehrmals Freileitungen gequert, bzw. verlaufen parallel zum geplanten Vorhaben. Diese werden im weiteren Verlauf dieses Abschnittes bzgl. ihrer technischen Parameter näher erläutert.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, kommen in Deutschland in den Verteil- und Übertragungsnetzen drei Spannungsebenen mit den Nennspannungen 110 kV, 220 kV und 380 kV zum Einsatz. Die Anforderungen an die Nennspannung der verschiedenen Hoch- und Höchstspannungsebenen sind in der Norm DIN EN 50160 definiert [10]. Demnach sind die zulässigen Spannungsbereiche gemäß Tabelle 2-1 zur Gewährleistung der Spannungsqualität in den unterlagerten Netzen einzuhalten.

Die maximale Stromstärke wird durch den thermischen Grenzstrom, d.h. maximal zulässigen Dauerstrom I_d , des jeweiligen Seiltyps als materialbezogene Angabe bestimmt. Tabelle 2-5 listet die Stromtragfähigkeit der verschiedenen Seiltypen der querenden und parallel zur geplanten Erdkabelleitung verlaufenden Freileitungen in Abhängigkeit der Bündelleiterzahl auf.

Es kommen diese oder vergleichbare Seiltypen zum Einsatz. Bei den im Folgenden beschriebenen Niederfrequenzanlagen handelt es sich um Hoch- und Höchstspannungsleitungen aus dem Bestand der Amprion GmbH, der Syna GmbH und der DB Energie.

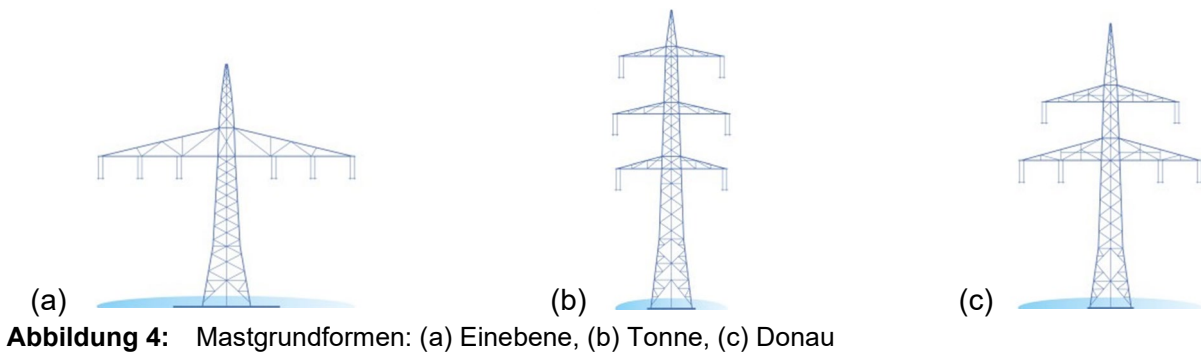


Tabelle 2-5: Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_d der im Bestand vorkommenden Leiterseile und Bündelleiter.

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
TALACS 185/30	0,740 kA	1,480 kA	2,220 kA	2,960 kA
ZTAHAC 172/40b	1,058 kA	2,116 kA	3,174 kA	4,232 kA

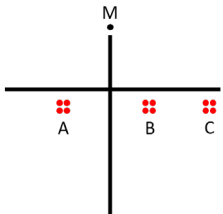
Die zum Einsatz kommenden Maste setzen sich aus drei Grundformen zusammen – Einebene, Tonne oder Donau (Abbildung 4). Diese Grundformen können für den Fall, dass mehrere Stromkreise geführt werden sollen, auch kombiniert oder erweitert werden. Jede Grundform weist Vor- und Nachteile auf und die Auswahl erfolgt in Abhängigkeit von planerischen, umweltfachlichen und feldreduzierenden Aspekten. Betriebliche Gründe können die Auswahl jedoch einschränken. Oberwellenanteile (z.B. 150 Hz, 250 Hz) werden bei der Bewertung nicht betrachtet. Sie können, wie in Kapitel 3.1 näher ausgeführt, vernachlässigt werden.

2.2.2.1 Parallellage zur 110-/380 kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228)

Im zweiten technischen Unterabschnitt TA1b mit offener Bauweise im Regelgrabenprofil verläuft die 110-/380 kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228) der Amprion GmbH in Parallellage zu der geplanten Erdkabeltrasse (~ SL_0+650 bis SL_1+300). In diesem Abschnitt führen die Spannfelder von Mast 1A bis 1C ausschließlich den 380-kV-Stromkreis als Einebene über D36-Masten. Die Stromkreisbelegung ist in Tabelle 2-6 dargestellt.

Tabelle 2-6: Stromkreisbelegung der Bl. 4228 für die Spannfelder Mast 1A bis Mast1C.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	380	ABC	4	AL/ACS 265/35

	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 241/40
---	---------	---	---	---	---------------

2.2.2.2 Querung der 110 kV-Freileitung Pkt. Hattersheim – Bommersheim (Bl. 3016)

Im dritten technischen Unterabschnitt TA1c verläuft die 110 kV-Hochspannungsfreileitung Pkt. Hattersheim – Bommersheim, Abschnitt Pkt. Zeilsheim – Kriftel (Bl.3016) der Syna GmbH im Spannungsfeld zwischen Mast 1013 und 1014 in kreuzender Lage zur geplanten Erdkabeltrasse, Bl.0658 (~ SL_1+600 bis SL_1+800). Die beiden 110-kV-Stromkreise werden über die Masten vom Typ A5S in Tannenordnung geführt. Die Stromkreisbelegung ist in Tabelle 2-6 dargestellt.

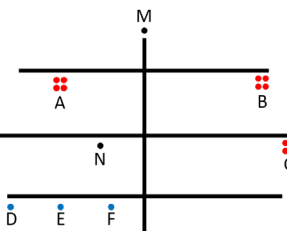
Tabelle 2-7: Stromkreisbelegung der Bl. 3016 der Syna GmbH zwischen Mast 1013 und 1014.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	1	ZTAHAC 172/40b
	2	110	DEF	1	ZTAHAC 172/40b
	Erdseil	–	M	1	AY/AW 85/43

2.2.2.3 Querung der 110 /380-kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228)

Die Erdkabeltrasse quert zunächst in offener Bauweise als Regelgrabenprofil im technischen Unterabschnitt TA1e (~ SL_3+100 bis SL_3+250) und dann in geschlossener Bauweise als Rohrvortrieb (~SL 3+250 bis SL_3+300) im technischen Unterabschnitt TA2a die zu ihr quer verlaufende, bestehende 110 /380 kV-Freileitung Kriftel – Pkt. Eschborn (Bl. 4228) der Amprion GmbH. Die Querung beider Abschnitte erfolgt im Spannungsfeld zwischen Mast 5 und Mast 6 (Masttyp BB25S). Die Stromkreisbelegung ist in Tabelle 2-8 dargestellt.

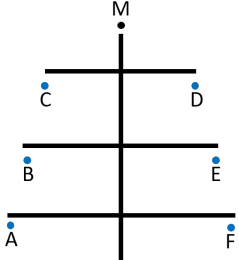
Tabelle 2-8: Stromkreisbelegung der Bl. 4228 der Amprion GmbH zwischen Mast 5 und 6.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	380	ABC	4	AL/ACS 265/35
	2	110	DEF	1	AL/ST 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 264/33
	Erdseil	–	N	1	AY/ACS 264/33

2.2.2.4 Näherung der 110-kV-Freileitung – Anschluss Farbwerke Höchst West (Bl. 0107)

Im dritten technischen Unterabschnitt (TA2c) der geschlossenen Bauweise nähert sich die 110-kV-Freileitung – Anschluss Farbwerke Höchst West der Syna GmbH, die Bl. 0107, der Erdkabeltrasse (~ SL_5+000 bis SL_5+050) bis auf wenige Meter im Bereich der Spannfelder Mast 9 bis 11 (Masttyp A9 A/S) an. Von dort entfernt sich die Bl. 0107 wieder vom Trassenverlauf des Erdkabels in südlicher Richtung, um dann schließlich in der UA IPH-West zu enden. Die beiden 110-kV-Stromkreise werden in diesem Abschnitt als Tannenordnung geführt. Tabelle 2-9 zeigt die entsprechende Stromkreisbelegung und Leiterseiltypen der Bl. 0107.

Tabelle 2-9: Stromkreisbelegung der Bl. 0107 der Syna GmbH zwischen Mast 9 und 11.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	1	TALACS 185/30
	2	110	DEF	1	TALACS 185/30
	Erdseil	–	M	1	AL/ST 120/20

2.2.2.5 Querung der 15 kV-Bahnstromoberleitungen (DB Nr. 3603 und 3610)

Im gleichen technischen Unterabschnitt TA2c befinden sich zwei Bahnstromoberleitungen (15 kV, 16,5 Hz) der DB Energie in querender Lage zur geplanten Erdkabeltrasse (SL_5+050 und SL_5+100 bzw. SL_5+350 und SL_5+400). Die entsprechenden Leitungsbezeichnungen lauten DB Nr. 3603 und DB Nr. 3610. Diese Bahnstromoberleitungen wurden ebenfalls bei der Immissionsbetrachtung berücksichtigt. Die Oberleitungen haben aufgrund des deutlich niedrigeren Betriebsstroms in Verbindung mit dem großen Abstand zu den Betrachtungsorten einen vernachlässigbaren Einfluss auf die resultierende magnetische Flussdichte in diesem technischen Unterabschnitt.

3 Ermittlung

Gemäß § 5 der 26. BImSchV [3] sind für die Ermittlung der elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten keine Messungen erforderlich, wenn die Einhaltung der Grenzwerte durch Berechnungsverfahren festgestellt werden kann. Entsprechend wurden an den maßgeblichen Immissionsorten Berechnungen nach folgender Methodik durchgeführt.

3.1 Methodik

Elektrische und magnetische Felder lassen sich mit den Gleichungen der klassischen Elektrodynamik sicher berechnen [5, 11, 12]. Anwendung finden diese Gleichungen in der Software *WinField* (auch als EFC-400 bezeichnet) der FGEU mbH [13]. Sie berechnet die elektrischen und magnetischen Felder der Niederfrequenz jeweils in quasistationärer Näherung. Zur Berechnung der elektrischen Feldstärke ist die Methode der Spiegelladung implementiert [5, 11, 12, 13], für die Berechnung der magnetischen Flussdichte wird das Ampère'sche Gesetz ausgewertet [5, 13]. Die verwendeten Methoden entsprechen damit den in der DIN EN 50413 spezifizierten Anforderungen [14].

Der geplante Neubau der 110-kV-Hochspannungserdkabeltrasse, Bl. 0658, sowie die zur ihr parallel und quer verlaufenden Freileitungen werden mit den Parametern nach Kapitel 2 digital modelliert. Aus dem digitalen Modell der Trassen kann mittels *WinField* für beliebige Koordinaten die elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten berechnet werden. Dabei finden Gebäude und Bewuchs keine Berücksichtigung, da das magnetische Feld dadurch höchstens vernachlässigbar verzerrt wird, sodass hier eine Betrachtung nicht geboten ist.

Nach der 26. BImSchV sind die elektrischen und magnetischen Felder bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung zu bestimmen (vgl. Kapitel 1.2.1). Für die Berechnung der Immissionen durch das Erdkabelsystem wird daher stets die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ nach Tabelle 2-1 sowie die in Kapitel 2.2.1 genannten Stromstärken und die Verteilung der Ströme im Kabelgraben für die höchste betriebliche Auslastung zugrunde gelegt. Ebenso werden, sofern vorhanden, sämtliche in der Nähe liegende Wechselstromanlagen bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung mitbetrachtet (vgl. Kapitel 2.2.2). Auch für diese Niederfrequenzanlagen erfolgt die Berechnung der Felder stets für die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ nach Tabelle 2-1 sowie den entsprechend der Bündelleiterzahl maximalen thermischen Dauerstrom I_d nach Tabelle 2-5. Stromstärken über 4 kA, wie z.B. bei Viererbündeln möglich, werden nach den derzeit gültigen Planungsgrundsätzen der vier Übertragungsnetzbetreiber in der Praxis nicht zugelassen. Der maximale Betriebsstrom beträgt 3,6 kA (in Ausnahmefällen 4 kA) [15]. Insofern sind die auf Grundlage von Stromstärken über 4 kA ermittelten magnetischen Felder höher als die tatsächlich maximal auftretenden.

Des Weiteren werden die Berechnungen bei der Betriebsfrequenz der Hochspannungsleitungen (50 Hz oder 16,7 Hz) und ohne Berücksichtigung von Oberwellenanteilen bei den harmonischen Frequenzen (Vielfache der Betriebs- bzw. Grundfrequenz) durchgeführt. Nach DIN EN 50160 müssen unter normalen Betriebsbedingungen innerhalb eines beliebigen Wochen-

intervalls 95% der 10-Minuten-Mittelwerte des Spannungseffektivwertes jeder einzelnen Oberschwingung kleiner oder gleich den in Tabelle 4 der DIN EN 50160 hierfür genannten Werten sein [10]. Der Oberwellenanteil ist damit sehr gering und deren Immissionsbeitrag ist gegenüber dem Beitrag der Betriebsfrequenz verschwindend klein, weshalb sie vernachlässigt werden können.

Die Bewertung der Immissionen erfolgt für Erdkabel gemäß der LAI-Hinweise [9] in einer Höhe von 0.2 m über Erdbodenoberkante.

3.2 Maßgebliche Immissionssorte

Gemäß der 26. BImSchV sind die elektrischen und magnetischen Felder von Hochspannungswechselstromleitung in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, zu ermitteln (vgl. Kapitel 1.2.1). Eine Definition des Einwirkungsbereichs und welche Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen zählen, liefern die LAI-Hinweise [9].

Nach Ziffer II.3.1 der LAI-Hinweise gilt als Einwirkungsbereich einer niederfrequenten Drehstromanlage der Bereich von 1 m um das Erdkabel. Der Einwirkungsbereich ist der Bereich, in dem die Niederfrequenzanlage einen signifikanten von der Hintergrundbelastung abhebbenden Immissionsbeitrag verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt, die im Einwirkungsbereich liegen, gelten als maßgebliche Immissionsorte. Nach Ziffer II.3.2 der LAI-Hinweise sind Gebäude und Grundstücke, in oder auf denen nach der bestimmungsgemäßen Nutzung Personen regelmäßig länger - mehrere Stunden - verweilen können, Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt. Als solche kommen gem. den LAI-Hinweisen insbesondere Wohngebäude, Krankenhäuser, Schulen, Schulhöfe, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze und Kleingärten in Betracht. Auch Gaststätten, Versammlungsräume, Kirchen, Marktplätze mit regelmäßigem Marktbetrieb, Turnhallen und vergleichbare Sportstätten sowie Arbeitsstätten, z. B. Büro-, Geschäfts-, Verkaufsräume oder Werkstätten, können dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen.

Orte des vorübergehenden Aufenthalts nach Ziffer II.3.2 der LAI-Hinweise gelten nicht als maßgebliche Immissionsorte. Hierzu zählen beispielsweise Gänge, Flure, Treppenräume, Toiletten, Vorratsräume sowie Abstellräume, Heiz- Kessel- oder Maschinenräume, Räume, die nur zur Lagerung von Waren oder Aufbewahrung von Gegenständen dienen, und Garagen. Auch Orte, an denen sich zwar ständig Menschen aufhalten, die Verweildauer des einzelnen aber in der Regel gering ist, wie beispielsweise Bahnsteige und Bushaltestellen, dienen dem vorübergehenden Aufenthalt.

Zur vorliegenden Leitungsplanung ist festzuhalten, dass bei der Trassierung der Leitungsführung als ein wichtiges Kriterium ein möglichst großer Abstand zur Wohnbebauung als raumplanerische Vorgabe berücksichtigt wurde.

Da die Überdeckung der Erdkabel durchgehend mehr als 1.5 m (1.4 m bis Schutzrohroberkante) beträgt und somit immer größer ist als der in den LAI-Hinweisen [9] angegebene Einwirkungsbereich von 1m Radius um die Drehstromerdkabel, befinden sich keine Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen im Einwirkungsbereich der Erdkabel. Somit sind keine maßgeblichen Immissionsorte vorhanden. Dies ist auch in den EMF-Plänen Anlage 10.1.3 kartografisch dargestellt.

3.3 Maßgebliche Minimierungsorte

Nach 26. BImSchVVwV sieht die Umsetzung des Minimierungsgebots zunächst eine Vorprüfung vor (vgl. Kapitel 1.2.2). Sie dient der Feststellung, ob überhaupt Minimierungsmaßnahmen durchzuführen sind. Dies ist gemäß Nr. 3.2.1 der 26. BImSchVVwV der Fall, wenn es sich um einen Neubau oder eine wesentliche Änderung handelt und sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der Niederfrequenzanlage befindet.

Da es sich bei dem geplanten Vorhaben um einen Neubau handelt, liegt eine wesentliche Änderung im Sinne der 26. BImSchVVwV vor.

Als maßgebliche Minimierungsorte gelten Gebäude, Gebäudeteile oder Grundstücke, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, insb. Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnlichen Einrichtungen. Befindet sich auf einem Grundstück ein Gebäude das dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt dient, so wird die Minimierung vorrangig für diesen Ort durchgeführt.

Der Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage ist der Bereich, in dem die Anlage sich signifikant von den natürlichen und mittleren anthropogen bedingten Immissionen abhebende elektrische oder magnetische Felder verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Die 26. BImSchVVwV trifft hierzu Festlegungen über konservative Pauschalwerte für verschiedene Anlagentypen. Der Einwirkungsbereich gem. 26. BImSchVVwV von Drehstromerdkabeln mit einer Nennspannung von ≥ 110 kV bis < 220 kV entspricht zu beiden Seiten 35 m ab dem äußeren Erdkabel.

Jeder technische Abschnitt der 110-kV-Erdkabeltrasse Bl. 0658 wurde auf maßgebliche Minimierungsorte überprüft. Dabei wurden aus dem amtlichen Kataster (ALKIS) Gebäude, die für den nicht nur vorübergehenden Aufenthalt vorgesehen sind, ermittelt, Luftbilder ausgewertet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Entlang der Trasse wurden zwölf maßgebliche Minimierungsorte ermittelt, die in Tabelle 3-1 aufgeführt und in den EMF-Karten (Anlage 10.1.3) kartografisch dargestellt sind. Bei dichter Bebauung wurden ganze Siedlungsstrukturen berücksichtigt.

Tabelle 3-1: Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der 110-kV-Hochspannungserdkabelleitung UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658.

Lfd. Nr.	Minimierungsort	Nutzungsart	Stationierung
1	Zeilsheim Fl. 2 FIST. 51/2, 51/4, 89/50, 90/50,91/50	Kleingärten	~ SL_1+975
2	Zeilsheim Fl. 3 FIST. 5, 6	Kleingärten	~ SL_2+025
3	Zeilsheim Fl. 2 FIST. 55	Kleingärten	~ SL_2+150
4	Zeilsheim, Fl. 2 FIST 113/41	Kleingärten	~ SL_2+500
5	Zeilsheim Fl. 4 FIST. 12/2	Wohngebäude	~ SL_3+150
6	Sindlingen Fl. 1 FIST. 151, 152	Kleingärten	~ SL_4+300
7	Sindlingen Fl. 1, FIST. 256/170	Kleingärten	~SL_4+450
8	Sindlingen Fl. 3 FIST. 2-4, 6-9, 226/5, 227/5,453/1	Kleingärten, Wohngebäude	~ SL_4+500
9	Sindlingen Fl. 3 FIST. 176	Kleingärten	~ SL_4+600
10	Sindlingen Fl. 8 FIST. 470/259	Kleingärten	~ SL_5+000
11	Sindlingen Fl. 8 FIST.69-74, 75/1,75/3, 76/1, 80/4, 80/5, 80/8, 81/2, 84/1, 84/2, 261/12	Kleingärten	~ SL_5+300
12	Höchst Fl. 23	Industrie, Gewerbe	~ SL_5+500

4 Ergebnisse

Die Bewertung erfolgt entsprechend der einzelnen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für das magnetische Feld. Zunächst werden die Ergebnisse im Hinblick auf die einzuhaltenden Grenzwerte unter Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen anderer Anlagen dargelegt. Es folgen Aussagen zur Beachtung des Gebots zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden. Danach wird die Bewertung im Hinblick auf die Beachtung des Minimierungsgebots dargelegt.

4.1 Anforderungen zum Schutz

Im Einwirkungsbereich der geplanten Drehstromerd Kabel des Vorhabens UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658, liegen alle Orte die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, außerhalb der definierten Abstände gem. den LAI-Hinweisen [9], sodass entsprechend keine maßgeblichen Immissionsorte im Leitungsverlauf festgestellt wurden. Damit erfüllt die geplante Drehstromanlage in diesem Vorhaben die Anforderungen aus § 3a der 26. BImSchV [3] und folglich werden keine Berechnungen zum Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte nach § 3a der 26. BImSchV gefordert.

Um dennoch eine konkrete Aussage über die Exposition gegenüber den magnetischen Feldern der geplanten Drehstromerd Kabel treffen zu können, wurde eine Immissionsbetrachtung für jeden technischen Unterabschnitt durchgeführt. Die Ergebnisse der Immissionsbetrachtung sind in die Umweltstudie eingeflossen (Anlage 09).

4.2 Immissionsbetrachtungen

4.2.1 Drehstromerd Kabel UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658

In jedem technischen Unterabschnitt wurde eine Immissionsbetrachtung an einem repräsentativen Ort des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts von Menschen durchgeführt, der möglichst nah am Einwirkungsbereich gemäß LAI-Hinweise der geplanten Anlage liegt. Die untersuchten Orte werden im Folgenden jeweils „Betrachtungsort“ genannt.

Bei der Berechnung werden vereinfachende Annahmen getroffen, die zu einer konservativen Bewertung der Immissionen führen. So wird durchgehend eine Mindestüberdeckung von 1,5 m der Drehstromerd Kabel UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658 für die offene Bauweise im Regelgrabenprofil angenommen (siehe Tabelle 2-2). Insbesondere in Bereichen der geschlossenen Bauweise ist die Überdeckung jedoch üblicherweise deutlich größer als die angenommene Mindestüberdeckung (siehe Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4).

Für die Betrachtungsorte mit der voraussichtlich stärksten Exposition wurden analog zu §3 Abs. 2 der 26.BImSchV [3] Nachweise für Niederfrequenzanlagen gemäß LAI-Hinweisen [9] erstellt. In fünf der acht technischen Unterabschnitte konnte jeweils ein repräsentativer Ort zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt für eine Immissionsbetrachtung identifiziert werden. Die dazugehörigen Nachweise enthalten detaillierte Angaben zur Nachvollziehbarkeit

der Berechnungen der magnetischen Flussdichte an den Betrachtungsorten und sind der Anlage 10.1.2 zu entnehmen. Die ermittelte magnetische Flussdichte an den Betrachtungsorten ist in Tabelle 4-1 aufgeführt.

Tabelle 4-1: Feldimmissionen an den jeweiligen Betrachtungsorten der Drehstromerdkabel in 0,2 m über EOK. Das elektrische Feld wird durch Kabelschirm und Erdreich vollständig abgeschirmt und ist daher nicht zu betrachten. Für die technischen Unterabschnitte TA1b, TA1c und TA2a konnte kein repräsentativer Betrachtungsort für eine Immissionsbetrachtung identifiziert werden.

Technischer Abschnitt	Betrachtungsort (Stationierung)	Magnetische Flussdichte			Unterlage
		50 Hz	Grenzwert 50 Hz	Grenzwertausschöpfung	
Bl. 0658 System A - System B, offene Bauweise, Regelgrabenprofil, Alleinlage					
TA1a	ca. SL_2+150	2.4 µT	100 µT	2.4 %	Anlage 10.1.2 Kapitel 1
Bl. 0658 System A - System B, offene Bauweise, Rohrvortrieb, Engstelle, Alleinlage					
TA1d	ca. SL_2+020	39 µT	100 µT	39 %	Anlage 10.1.2 Kapitel 2
Bl. 0658 System A - System B, offene Bauweise, Regelgrabenprofil, Bl. 4228 kreuzend					
TA1e	ca. SL_3+200	11 µT	100 µT	11 %	Anlage 10.1.2 Kapitel 3
Bl. 0658 System A - System B, geschlossene Bauweise, Rohrvortrieb, Pfaffenwiese (L3018)					
TA2b	ca. SL_4+400	15 µT	100 µT	15 %	Anlage 10.1.2 Kapitel 4
Bl. 0658 System A - System B, geschlossene Bauweise, Rohrvortrieb, Querung Bahntrassen, Bl.0107					
TA2c	ca. SL_5+300	18 µT	100 µT	18 %	Anlage 10.1.2 Kapitel 5

Die hier aufgeführten Betrachtungsorte sind repräsentativ für ihren jeweiligen technischen Unterabschnitt, d.h. die Immissionen an allen anderen potenziellen Betrachtungsorten in dem jeweiligen technischen Unterabschnitt sind geringer.

Im technischen Unterabschnitt TA1d wird die maximale prognostizierte magnetische Flussdichte für die geplante Drehstromanlage von 39 μ T erreicht. Dies entspricht einer Grenzwertausschöpfung von 39 %, sodass der Grenzwert für die magnetische Flussdichte (vgl. Tabelle 1) unter Berücksichtigung aller relevanten Drehstromanlagen sicher eingehalten wird. In allen übrigen technischen Unterabschnitten ist die prognostizierte magnetische Flussdichte an den entsprechenden Betrachtungsorten niedriger als die für TA1d maximal prognostizierte magnetische Flussdichte.

Die Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen ortsfester Hochfrequenzanlagen ist hier nicht erforderlich. Entsprechend Ziffer II.3.4 der LAI-Hinweise tragen Hochfrequenzanlagen ab einem Abstand von 300 m nicht relevant zur Vorbelastung bei und machen daher eine weitere Betrachtung entbehrlich. Dieser Regelung liegt die Einschätzung von messtechnischen Fachstellen hinsichtlich der Immissionsbeiträge von Hochfrequenzanlagen im Spektrum von 9 kHz bis 10 MHz zugrunde [9]. Laut EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur (<https://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/>, abgerufen am 05.02.2024) befinden sich im genannten Umkreis von 300 m Entfernung zum geplanten Vorhaben keine Funkanlagenstandorte mit einer Frequenz

kleiner-gleich 10 MHz. Der entsprechende Auszug aus der EMF-Datenbank ist in Anlage 10.1.5 beigelegt.

Das geplante Vorhaben des Neubaus der 110-kV-Drehstromerdkabelleitung UA Welschgraben – UA IPH-West Bl. 0658 erfüllt damit die Anforderungen aus § 3 der 26. BImSchV sowohl hinsichtlich der Grenzwertvorgaben als auch der Summenbetrachtung von Immissionsbeiträgen anderer Anlagen.

4.2.2 Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden

Bei der Frage nach erheblichen Belästigungen oder Schäden geht es um den Effekt der sogenannten Funkenentladung durch Aufladung von metallischen Gegenständen im elektrischen Feld unter einer Höchstspannungsfreileitung. Das elektrische Feld wird durch den Kabelschirm und das Erdreich vollständig abgeschirmt. Daher sind erhebliche Belästigungen oder Schäden durch Funkenentladungen über Wechsel- oder Gleichstromerdkabelanlagen auszuschließen.

4.3 Anforderungen zur Vorsorge

Die Anforderungen zur Vorsorge an Niederfrequenz- oder Gleichstromanlagen ergeben sich aus dem in § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV beschriebenen Minimierungsgebot.

4.3.1 Minimierungsgebot

Zur Vorsorge sind nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV elektrische und magnetische Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit zu reduzieren. Die Umsetzung erfolgte entsprechend der Vorgaben – siehe Kapitel 1.2.2 – in drei Teilschritten: einer Vorprüfung nach Nr. 3.2.1, einer Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen nach Nr. 3.2.2 und einer Maßnahmenbewertung nach Nr. 3.2.3 der 26. BImSchVVwV.

4.3.2 Vorprüfung

Das Ergebnis der Vorprüfung ist in Kapitel 3.3 dargestellt. Im Einwirkungsbereich der geplanten Drehstromerdkabel des Vorhabens UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658, wurden die in Tabelle 3-1 zusammengefassten maßgeblichen Minimierungsorte ermittelt. Daher wird für diese Drehstromanlagen im Folgenden die Minimierungsprüfung durchgeführt.

4.3.3 Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen

Die Prüfung der Minimierung ist von der Lage der Minimierungsorte abhängig. Befindet sich ein Minimierungsort innerhalb des Einwirkungsbereichs, aber nicht innerhalb des Bewertungsbereichs (Fläche zwischen Bewertungsabstand und Trassenachse), so erfolgte die Prüfung nur an, gemäß Nr. 2.4 26. BImSchVVwV definierten, Bezugspunkten (Anlage 10.1.3 EMF-Pläne), wohingegen bei Lage innerhalb des Bewertungsbereichs eine individuelle Minimierungsprüfung erfolgte. Bei der Minimierungsprüfung wurde zusätzlich geprüft, ob eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an maßgeblichen Minimierungsorten führt und somit unzulässig und ungeeignet wäre.

Bewertungs- und Einwirkungsbereich sind abhängig von der Spannungsart- und -ebene definiert. Für Drehstromerdkabel mit einer Nennspannung von ≥ 110 kV bis < 220 kV beträgt der Einwirkungsbereich 35 m zu beiden Seiten der Trasse ausgehend von der Bodenprojektion des äußeren Leiters. Der Bewertungsabstand von Erdkabeln im Drehstrombetrieb mit einer Nennspannung von ≥ 110 kV bis < 220 kV beträgt 1 m zu beiden Seiten der Trasse ausgehend von der Bodenprojektion des äußeren Kabels [8].

Dementsprechend war für die maßgeblichen Minimierungsorte mit der laufenden Nummer 2, 10, 11 und 12 (vgl. Tabelle 3-1 und Anlage 10.1.3 EMF-Pläne) innerhalb des Bewertungsabstandes eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich. Für alle anderen maßgeblichen Minimierungsorte erfolgte die Prüfung am Bezugspunkt. Als Bezugspunkt bezeichnet man den Punkt, der im Bewertungsabstand auf der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen maßgeblichen Minimierungsort und der jeweiligen Trassenachse liegt. Bei dichter Bebauung, d.h. einer Vielzahl von Bezugspunkten, können repräsentative Bezugspunkte gewählt werden.

Die Prüfung des Minimierungspotentials hat bei Drehstromerdkabelleitungen mit einer Betriebsfrequenz von 50 Hz auf Basis der in Nr. 5.3.2 der 26. BImSchVV aufgeführten technischen Möglichkeiten zu erfolgen und gliedert sich in folgende Maßnahmen.

- Minimieren der Kabelabstände (Nr. 5.3.2.1), durch Verringerung der Abstände der einzelnen Kabel eines Systems
- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.2.2), durch Veränderung der Phasenfolge der Einzelerdkabel, im Folgenden Phasenfolge genannt
- Optimieren der Verlegegeometrie (Nr. 5.3.2.3), z.B. durch Veränderung der geometrischen Anordnung der Einzelerdkabel zur bestmöglichen Kompensation der entstehenden magnetischen Felder
- Optimieren der Verlegetiefe (Nr. 5.3.2.4), durch Erhöhung der Grabentiefe der Erdkabelanlage

Beim vorliegenden Neubau der Drehstromerdkabel im Vorhaben UA Welschgraben – UA IPH West, Bl. 0658 sind grundsätzlich alle genannten technischen Möglichkeiten umsetzbar. Es wurden daher alle Minimierungsmaßnahmen hinsichtlich ihres Minimierungspotentials für die ermittelten Minimierungsorte bzw. deren Bezugspunkte bewertet.

Welche Minimierungsmöglichkeiten umgesetzt werden können und welche Maßnahmen bei einer Erdkabelplanung sinnvoll sind, wird unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Einwirkungsbereich ermittelt.

Insbesondere der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit ist zu wahren, indem Aufwand und Nutzen möglicher Maßnahmen betrachtet werden. Zudem sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen. Bei der Minimierung von neuen oder wesentlich geänderten Leitungen sind die Felder der bestehenden Leitungen zu berücksichtigen.

Nach Nr. 3.2.2.3 der 26. BImSchVV ist das Minimierungspotential entweder über Mess- und Berechnungsverfahren oder über eine pauschalierende Betrachtung zu ermitteln. Vorliegend

wurde im geplanten Vorhaben überwiegend eine pauschalierende Betrachtung gewählt, die insbesondere den Stand der Technik, Erfahrungen mit bestehenden Anlagen und allgemeine physikalische Grundsätze mit einbezieht.

4.3.3.1 Maßnahmenbewertung Drehstromerdkabelleitungen Bl. 0658

Bei der Maßnahmenbewertung ist gem. Nr. 3.1 der 26.BImSchVVwV insbesondere die Verhältnismäßigkeit der technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu bewerten. Dabei einbezogen wird zum Beispiel die Wirksamkeit der Maßnahmen, die Auswirkung auf die Gesamtimmission an den maßgeblichen Minimierungsorten, die zu erreichende Immissionsreduzierung an den maßgeblichen Minimierungsorten, die Investitions- und Betriebskosten der Maßnahmen sowie die Auswirkungen auf die Wartung und Verfügbarkeit der Anlagen. Zudem sind die Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen. Eine Maßnahme wird generell so weit angewendet, wie sie mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand und Nutzen umgesetzt werden kann.

Basis für die Nachweismethodik, die zu einer Maßnahmenbewertung führt, ist die höchste betriebliche Anlagenauslastung in der überwiegend zu erwartenden Stromrichtungskonstellation (bzw. Lastflussrichtung). In den Drehstromleitungen des Vorhabens Bl. 0658 ist der überwiegend zu erwartende Lastfluss von der UA Welschgraben in Richtung UA IPH-West gerichtet.

Für die Drehstromerdkabel im Vorhaben Bl. 0658 wurden alle oben genannten Optimierungsmaßnahmen geprüft und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit geprüft und angewendet.

Die Anwendung der Minimierungsmaßnahmen nach Nr. 5.3.2 der 26.BImSchVVwV kann jedoch nicht unabhängig voneinander erfolgen. Die Verlegtiefe kann Auswirkungen auf die Kabelabstände haben. Auch kann eine Maßnahme zwar technisch umsetzbar sein, aber nachteilige Wirkungen auf andere Schutzgüter haben. All diese Abhängigkeiten wurden bei der Festlegung von Minimierungsmaßnahmen berücksichtigt.

Im Folgenden werden die einzelnen Minimierungsoptionen geprüft und hinsichtlich ihres Minimierungspotentials für die ermittelten maßgeblichen Minimierungsorte bzw. deren Bezugspunkte (vgl. Tabelle 3-1) bewertet.

Ziel der Minimierungsprüfung war es, magnetische Felder unter den o.g. Rahmenbedingungen zu reduzieren. Entsprechend der Reihenfolge nach Nr. 5.3.2 der 26.BImSchVVwV werden die Minimierungsmaßnahmen im Folgenden diskutiert.

4.3.3.2 Minimieren der Erdkabelabstände

Mit den Erdkabelabständen ist der Abstand der einzelnen Erdkabel eines Systems sowie der Systeme untereinander gemeint. Durch Reduktion der Erdkabelabstände kann unter Berücksichtigung der optimierten Phasenanordnung eine günstige Überlagerung der Feldanteile über dem Erdreich erreicht werden, um dort niedrigere magnetische Flussdichten zu realisieren. Die Erdkabelabstände können allerdings nicht beliebig verringert werden. Bei der Umsetzung sind Mindesterdkabelabstände erforderlich, um die gegenseitige Erwärmung der Erdkabel zu begrenzen.

Die Abstandsminimierung der Kabel wird zudem von anderen Anlagenparametern beeinflusst. So ist sie abhängig von den vorherrschenden Bodenbeschaffenheiten und der möglichen Verlegetiefe. Eine tiefere Verlegung erfordert u.a. aufgrund der geringeren Wärmeableitung größere Kabelabstände.

In den Abschnitten der offenen Bauweise als Regelgrabenprofil wurde unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit und der notwendigen Wärmeabfuhr der im Regelgraben minimal mögliche Erdkabelabstand zur Sicherstellung der Übertragungskapazität und der Begrenzung der Bodenerwärmung gewählt.

Die geplanten Erdkabelanlagen erfordern Kreuzungen von bestehender linearer Infrastruktur sowie Gewässern. Die Kreuzung des Welschgraben und des Lachgraben als Gewässer erfolgt beispielsweise in dem vorliegenden Vorhaben in offener Bauweise im Regelgrabenprofil. Hierbei erfolgt die Querung der Gewässer auf sehr kurzen Abschnitten mit einer größeren Verlegetiefe als die Mindestüberdeckung von 1,5 m. Verlegegeometrie, Kabelabstände und Phasenfolge bleiben unverändert.

Meistens erfolgt die Herstellung der Kreuzungen in geschlossener Bauweise, für das vorliegende Vorhaben mittels Rohrvortrieb. Der Rohrvortrieb wird verwendet, um lineare Infrastrukturen in größerer Verlegetiefe zu unterqueren und bedingt größere Erdkabelabstände, die sich ungünstig auf die Überlagerung der Feldanteile auswirken. Da jedoch unterirdisch verlegte Infrastruktur gekreuzt wird, erfolgt die Kreuzung mittels geschlossener Bauweise mit größerer Verlegetiefe. Durch die größeren Abstände zur Feldquelle wirkt dies reduzierend auf die magnetische Flussdichte über dem Erdboden.

Unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheiten, der notwendigen Wärmeabfuhr der Kabel zur Sicherstellung der Übertragungskapazität und der Begrenzung der Bodenerwärmung sind bei dieser Maßnahme die dafür optimalen Kabelabstände für die Drehstromerdkabel des Vorhabens UA Welschgraben – UA IPH West, Bl. 0658, gewählt worden. Die grundsätzliche hohe Wirksamkeit dieser Minimierungsmaßnahme wird soweit möglich genutzt und umgesetzt.

4.3.3.3 Optimieren der Phasenfolge

Die Phasenfolge beschreibt die Anschlussreihenfolge der drei Phasen eines Erdkabelsystems. Diese wird bei einer vorgegebenen geometrischen Anordnung der einzelnen Kabel derart gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder möglichst gut kompensieren. Die Maßnahme bietet sich an, wenn mehr als ein Stromkreis verlegt wird und es sich um Einleitererdkabel handelt. Die Wirksamkeit der Minimierungsmaßnahme ist hoch und wird von anderen Anlagenparametern, wie der geometrischen Kabelanordnung und den Abständen der Kabel zueinander beeinflusst.

Die Phasenfolge der beiden Erdkabelsysteme A und B wird durch die bautechnisch bedingte Phasenfolge der Abgangsfelder in der GIS-Anlage UA Welschgraben fest vorgegeben (Anlage 01, Kapitel 6.4.2). Aufgrund der beengten Raumsituation in Kombination mit dem ungünstigen Einführungspunkt der 110-kV-Kabel in die UA Welschgraben sowie den relativ großen Biegeradien der 110-kV-Kabel ist es nach aktuellem Stand zudem nicht möglich die 110-kV-

Kabel im Keller der GIS-Anlage UA Welschgraben zu verdrehen, da hierfür ebenfalls zusätzlicher Platz für die Verdrehung der Erdkabel benötigt werden würde.

Eine Änderung der Phasenfolge, die an den einzelnen Abgangsfeldern der GIS-Anlage erfolgen müsste, ist damit in dem geplanten Vorhaben nicht umsetzbar. Folglich ist die Optimierung der Phasenfolge für beide Systeme A und B als Minimierungsmaßnahme nicht anwendbar.

Eine Analyse der ungünstigsten Phasenfolge und der günstigsten Phasenfolge, unter Annahme einer vorwiegenden Stromrichtung von der UA Welschgraben zur UA IPH-West ergab, dass die Erdkabelanlage mit der geplanten Phasenfolge bereits mit einer die betrieblichen Belange berücksichtigenden, immissionsreduzierenden Phasenfolge betrieben wird.

4.3.3.4 Optimieren der Verlegegeometrie

Um die entstehenden magnetischen Felder der Drehstromerdkabel bestmöglich zu kompensieren sind die einzelnen Erdkabel durch eine geeignete relative Position zueinander zu verlegen. Die Kabel können z.B. nebeneinander oder im Dreieck angeordnet werden. Bei der Wahl der Verlegegeometrie ist der Abstand der Erdkabel zueinander vom Wärmeleitvermögen des umgebenden Erdschicht oder Ersatzfüllguts zu berücksichtigen. Für die Kompensation ist die Dreiecksanordnung günstig, sodass diese zur Minimierung der magnetischen Flussdichte für die offene Bauweise im Regelgrabenprofil verwendet wurde (Abbildung 2, Kapitel 2.2).

Für die geschlossene Bauweise erfolgt beim Rohrvortrieb die Anordnung der beiden Kabelsystem A und B ebenfalls im Dreieck (Abbildung 3). Allerdings fallen bei dieser Bauweise die Kabelabstände zueinander größer aus als bei der Dreiecksanordnung im Regelgrabenprofil.

Durch größere Kabelabstände wird die Kompensation der einzelnen magnetischen Feldanteile zwar reduziert. Gleichzeitig ist die Verlegetiefe bei dieser Bauweise deutlich größer als bei der offenen Bauweise, sodass der Abstand zwischen der Feldquelle und der Erdoberfläche größer ist und die resultierende magnetische Flussdichte auf diese Weise reduziert.

Der zusätzliche Aufwand für eine günstigere Verlegegeometrie kann bei diesem Neubau erheblich sein. Unter Berücksichtigung eines ausreichenden Wärmeableitvermögens wurden die Abstände der Kabel untereinander in den beschriebenen Dreiecksanordnungen bei der Planung so weit wie möglich reduziert, um die resultierende magnetische Flussdichte an der Erdoberfläche zu minimieren.

Die Wirksamkeit dieser Minimierungsmaßnahme ist bei einer günstigen Verlegegeometrie als hoch einzuschätzen, sodass die Immissionen im Einwirkungsbereich deutlich gegenüber einer ungünstigeren Verlegegeometrie reduziert werden können.

4.3.3.5 Optimieren der Verlegetiefe

Die Wirksamkeit der Optimierung der Verlegetiefe ist in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Trasse ab. Grundsätzliches Ziel dieser Maßnahme ist es, den Abstand der einzelnen Erdkabel eines Systems zum Erdboden und damit zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern.

In diesem Vorhaben wurde die Verlegetiefe unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenbeschaffenheit, Wärmeleitfähigkeit und der notwendigen Bautechniken zur Herstellung der Erdkabelverbindung eingriffsminimierend geplant. Unter den oben genannten Bedingungen wurde abschnittsweise die Optimierung der Verlegetiefe durchgeführt.

4.3.3.6 Zusammenfassung der Minimierungsmaßnahmen

Für die geplante 110-kV-Erdkabeltrasse Bl. 0658, UA Welschgraben – UA IPH-West wurde die Umsetzbarkeit der Minimierungsmaßnahmen bewertet. Die Abstände der Erdkabel untereinander, Verlegegeometrie und die Verlegetiefe wurden unter Berücksichtigung der zulässigen thermischen Anforderungen und der Bodenbeschaffenheit optimiert. Aufgrund der in Kapitel 4.3.3.3 beschriebenen Gründe konnte die Phasenfolge der Erdkabeltrasse nicht vollständig optimiert werden. Dennoch ergab eine Prüfung der Phasenfolge, dass die Erdkabelanlage mit der geplanten Phasenfolge bereits mit einer die betrieblichen Belange berücksichtigenden, immissionsreduzierenden Phasenfolge betrieben wird.

Bei der Planung der Drehstromleitungen wurden die Minimierungsmaßnahmen geprüft und unter Berücksichtigung der genannten Belange wirksam umgesetzt. Dadurch konnte das magnetische Feld reduziert werden. Insgesamt wurden die Minimierungsmaßnahmen an allen maßgeblichen Minimierungsorten (Lfd. Nrn. 1 – 12) wirksam umgesetzt.

5 Angaben zur Qualität

Alle diesem Immissionsschutzbericht zugrundeliegenden Berechnungen wurden sorgfältig und gewissenhaft durchgeführt. Der Berechnungsfehler der verwendeten Software beträgt maximal 1,4 % gemäß Hersteller Zertifikat der FGEU mbH. Siehe hierzu Anlage 10.1.4.

6 Fazit

Die Amprion GmbH plant den Neubau der Hochspannungserdkabelleitung, Bl. 0658 UA Welschgraben – UA IPH-West mit zwei 110-kV-Stromkreisen in neuer Trassenführung. Die durch dieses Vorhaben hervorgerufenen Immissionen elektrischer und magnetischer Felder wurden in diesem Bericht geprüft.

Die Bewertung erfolgte gemäß den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben der 26. BImSchV [3] und 26. BImSchVVwV [8]. Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, werden die Anforderungen an Niederfrequenzanlagen gem. § 3 der 26. BImSchV eingehalten. Es liegen keine Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen im Einwirkungsbereich der Anlage gemäß der LAI-Hinweise [9]. Maßgebliche Immissionsorte liegen somit nicht vor.

Um dennoch eine konkrete Aussage über die Exposition gegenüber den magnetischen Feldern der geplanten Drehstromerdkabel treffen zu können, wurde eine Immissionsbetrachtung für jeden technischen Unterabschnitt durchgeführt. Für die Drehstromerdkabel wurde eine maximal prognostizierte magnetische Flussdichte von 39 μT am Betrachtungsort im technischen Unterabschnitt TA1d ermittelt (Tabelle 4-1). Dieser Wert liegt für die magnetische Flussdichte bei 50 Hz [3] deutlich unterhalb des Grenzwerts von 100 μT . Das elektrische Feld wird durch den Kabelmantel und das Erdreich vollständig abgeschirmt und ist daher nicht zu betrachten. Die ermittelten Werte für die magnetische Flussdichte (Tabelle 4-1) gelten im Rahmen der Immissionsbetrachtung für die Betrachtungsorte mit der stärksten Exposition im jeweiligen technischen Unterabschnitt. Durch das Abstandsgesetz nehmen die Felder ausgehend vom Bewertungsbereich gem. 26. BImSchVVwV mit zunehmendem Abstand zur Anlage monoton ab -näherungsweise mit $1/r$. Im Fernfeld der Freileitung nehmen die Felder mit $1/r^2$ stärker ab. Daher sind die Immissionswerte hinsichtlich der magnetischen Flussdichte an weiteren potenziellen Betrachtungsorten aufgrund des größeren Abstands zu Anlage niedriger als die Immissionen an den repräsentativen Betrachtungsorten.

In Kapitel 4.3 lässt sich die Umsetzung des Minimierungsgebots entnehmen. Es wurden alle technischen Möglichkeiten gemäß 26. BImSchVVwV hinsichtlich ihres Minimierungspotentials geprüft und Maßnahmen im Rahmen der Verhältnismäßigkeit wirksam angewendet.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass alle immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder, einschließlich zu berücksichtigender Unsicherheiten, eingehalten werden.

Amprion GmbH
Netzprojekte, Portfoliobearbeitung Immissionsmanagement Leitungen

i.A. Dr. Stefan Ries
Fachlich Verantwortlicher

i.A. Oliver Sanders
Leiter Portfoliobearbeitung
Immissionsmanagement Leitungen

A Verzeichnisse

A.1 Fachliteratur, Gesetze und Normen

- [1] *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*, in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), zuletzt geändert durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202).
- [2] *Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV)*, in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1799).
- [3] *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).
- [4] Strahlenschutzkommission, „Anforderungen an Sachverständige für die Bestimmung der Exposition gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern,“ Verabschiedet in der 188. Sitzung der Strahlenschutzkommission, 2004.
- [5] J. D. Jackson, *Klassische Elektrodynamik*, 3 Hrsg., Berlin: Walter de Gruyter, 2002.
- [6] 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.
- [7] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (100 kHz - 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 118, no. 5, pp. 483-524, 2020.
- [8] *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)*, vom 26. Februar 2016 (BAnz AT 03.03.2016 B5).
- [9] *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.
- [10] *DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2020.
- [11] P. Bauhofer, *Handbuch für Hochspannungsleitungen: niederfrequente elektromagnetische Felder und deren wirksame Reduktion*, Wien: Verband d. Elektrizitätswerke Österreichs, 1994.
- [12] D. Oeding und B. R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Hrsg., Heidelberg: Springer, 2013.
- [13] Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH, *Benutzerhandbuch WinField (R) - Magnetic and Electric Field Calculation*, Berlin, 2023.
- [14] *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 50413:2019*, Berlin: VDE Verlag GmbH, 2020.
- [15] *Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland.*, Ausgabe Juli 2022.
<https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>.

- [16] 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.

A.2 Abbildungen

- Abbildung 1:** Darstellung des Planungsbereichs des Vorhabens Neubau der 110-kV-Hochspannungserdkabeltrasse Bl. 0658 UA Welschgraben – UA IPH-West (magenta) inklusive der relevanten kreuzenden und parallelen Freileitungstrassen (rot, blau, grün). 3
- Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Regelgrabenprofils (offene Bauweise) der Erdkabelverbindung Bl. 0658 mit Benennung der Systeme, Abstände und Phasenführung.12
- Abbildung 3:** Schematische Darstellung der Kabelanordnung (geschlossene Bauweise, Rohrvortrieb) der Erdkabelverbindung Bl. 0658 mit Benennung der Systeme, Abstände und Phasenführung.13
- Abbildung 4:** Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Tonne, (c) Donau.....15

A.3 Tabellen

- Tabelle 1:** Grenzwerte für 16,7-Hz- und 50-Hz-Anlagen..... 7
- Tabelle 2-1:** Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetzen eingesetzten Spannungsebenen12
- Tabelle 2-2:** Technische Parameter bei der Verlegung im Regelgrabenprofil im ersten technischen Abschnitt (TA1a bis TA1c und TA1e).13
- Tabelle 2-3:** Technische Parameter bei der Verlegung in der offenen Bauweise im technischen Unterabschnitt TA1d und in der geschlossenen Bauweise als Rohrvortrieb in den technischen Abschnitten TA2a und TA2b.14
- Tabelle 2-4:** Technische Parameter bei der Verlegung in der geschlossenen Bauweise Rohrvortrieb im technischen Abschnitt TA2c. Abstände werden von der Erdkabelachse aus angegeben.14
- Tabelle 2-5:** Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_d der im Bestand vorkommenden Leiterseile und Bündelleiter.15
- Tabelle 2-6:** Stromkreisbelegung der Bl. 4228 für die Spannfelder Mast 1A bis Mast1C. ...15
- Tabelle 2-7:** Stromkreisbelegung der Bl. 3016 der Syna GmbH zwischen Mast 1013 und 1014.16
- Tabelle 2-8:** Stromkreisbelegung der Bl. 4228 der Amprion GmbH zwischen Mast 5 und 6.16
- Tabelle 2-9:** Stromkreisbelegung der Bl. 0107 der Syna GmbH zwischen Mast 9 und 11...17
- Tabelle 3-1:** Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der 110-kV-Hochspannungserdkabelleitung UA Welschgraben – UA IPH-West, Bl. 0658.21

Tabelle 4-1: Feldimmissionen an den jeweiligen Betrachtungsorten der Drehstromerdkabel in 0,2 m über EOK. Das elektrische Feld wird durch Kabelschirm und Erdreich vollständig abgeschirmt und ist daher nicht zu betrachten. Für die technischen Unterabschnitte TA1b, TA1c und TA2a konnte kein repräsentativer Betrachtungsort für eine Immissionsbetrachtung identifiziert werden.....23

A.4 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
------------------	------------------

Abs.	Absatz
AL/ST	Seilbezeichnung: Aluminium-Stahl-Seil
AL/ACS	Seilbezeichnung: Aluminium-Stalum-Seil
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Eine Verordnung zur Durchführung des BImSchG
Bl.	Bauleitnummer
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
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
Lfd.	Laufend(e)
Nr. / Nrn.	Nummer / Nummern
Pkt.	Punkt
S.	Satz
TALACS	Seilbezeichnung: temperaturbeständiges Aluminium-Stalum-Seil
UA	Umspannanlage
VDE	VDE-Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

A.5 Formelzeichen

In diesem Bericht verwendete Formelzeichen werden kursiv gesetzt. Indizes werden, da sie eine Spezifizierung darstellen (z.B.: Betriebsspannung U_b), geradegesetzt. Physikalische Größen werden in SI-Einheiten¹ in der typischerweise verwendeten Größenordnung angegeben.

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	Abstand oder Länge; in Meter (m)
U, U_b	Elektrische Spannung, Betriebsspannung; in Kilovolt (kV)
$I(f)$	Immissionswert bei der Frequenz f

¹SI: Système international d'unités (französisch: Internationales Einheitensystem)