

Anlage 10.1a

1. Planänderung

Auslegungsvermerk der Gemeinde

(Anhörungsverfahren § 43a EnWG i.V.m. § 73 VwVfG)

Der Plan hat ausgelegen in der Zeit

vom 20....
bis 20....

in der Gemeinde.....

Gemeinde

Siegel

Planfeststellungsvermerk der Planfeststellungsbehörde

Nach § 43b EnWG i.V.m. § 74 VwVfG planfestgestellt durch Beschluss

vom 20....

Planfeststellungsbehörde

Siegel

Auslegungsvermerk der Gemeinde

(Planfeststellungsbeschluss und festgestellter Plan (§ 43b EnWG i.V.m. § 74 VwVfG))

Der Planfeststellungsbeschluss und Ausfertigung des festgestellten Planes
haben ausgelegen in der Zeit

vom 20....
bis 20....

in der Gemeinde.....

Gemeinde

Siegel

Immissionsschutzbericht

Neubau 110-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung
Pkt. Zeilsheim Süd – FWHöchst Süd, Bl. 4238

Zubeseilung 380-kV-Höchstspannungsfreileitung
Marxheim – Kriftel, Bl. 4128

Stand: 31.01.2021

Inhalt: 33 Seiten



Amprion GmbH
G-L / Leitungen
G-P / Leitungsgenehmigungen und Naturschutz

Immissionsschutzbericht

Nr. B 0002

zur Prognose elektrischer und magnetischer Feldimmissionen
und deren Minimierung im geplanten Vorhaben

Unsere Zeichen A-PI/DS DIS700453806
Dokument Anlage 10.1a
Immissionsschutzbericht.docx
Dieses Dokument besteht
aus 33 Seiten.
Datum ~~02.10.2019~~ 31.01.2021

- Zu- und Umbeseilung 380-kV-Höchstspannungsfreileitung
Marxheim – Kriftel, Bl. 4128
- Ersatzneubau 110-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung
Pkt. Zeilsheim Süd – FWHöchst Süd, Bl. 4238

Seite 1 von 33

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~~ Uwe Tigges

Geschäftsführung:
Dr. Hans-Jürgen Brick
~~Dr. Klaus Kleinkorte~~ Dr. Hendrik
Neumann
Peter Rüth

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

1. Planänderung

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

Ausgestellt am: ~~02.10.2019~~ 31.01.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einführender Teil	3
1.1	Physikalische Grundlagen	5
1.1.1	Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen.....	5
1.1.2	Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen.....	5
1.2	Gesetzliche Anforderungen an Niederfrequenzanlagen.....	6
1.2.1	26. BImSchV	6
1.2.2	26. BImSchVVwV	7
2	Ausgangssituation	8
2.1	Technische Parameter	8
2.2	Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128	10
2.3	Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238	11
3	Ermittlung	13
3.1	Methodik.....	13
3.2	Maßgebliche Immissionssorte	14
3.2.1	Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128	14
3.2.2	Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238	15
3.3	Maßgebliche Minimierungsorte.....	16
3.3.1	Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128	16
3.3.2	Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238	17
4	Ergebnisse	19
4.1	Grenzwerteinhaltung	19
4.2	Überspannungsverbot und Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden.....	21
4.3	Minimierungsgebot	21
4.3.1	Vorprüfung	21
4.3.2	Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen	21
4.3.3	Maßnahmenbewertung.....	23
5	Angaben zur Qualität.....	29
6	Fazit	29
A	Verzeichnisse	31
A.1	Fachliteratur, Gesetze und Normen	31
A.2	Abbildungen	32
A.3	Tabellen	32
A.4	Abkürzungen	32
A.5	Formelzeichen	33

1 Einführender Teil

Die Amprion GmbH plant den Umbau des Anschlusspunktes Farbwerke Höchst (FWH) Süd zur Realisierung einer 380-kV-Netzanbindung. Das Vorhaben erstreckt sich über mehrere Teilmaßnahmen auf einer Gesamtlänge von ca. 10,9 km (siehe Abbildung 1). Von Pkt. Marxheim bis hin zur UA Kriftel ist eine 380-kV-Zu- und Umbeseilung auf einem bereits bestehenden Gestänge geplant, welche sich auf einer Länge von ca. 6,9 km erstreckt. Ausgehend von Pkt. Zeilsheim Süd ist ein 110-/380-kV-Ersatzneubau bis hin zur neuen 380-kV-Anlage FWH Süd geplant. Dieser soll auf einer Strecke von ca. 3,6 km realisiert werden. Verbunden mit dem Ersatzneubau soll der Rückbau der bestehenden 110-kV-Leitung, welche von der Syna GmbH betrieben wird, erfolgen. Die bestehende 110-kV-Leitung wird mit der neu zu errichtenden 380-kV-Leitung auf einem gemeinsamen Gestänge gebündelt. Ferner wird die Verbindung der neuen 380-kV-Anlage über die bestehende 110-kV-Leitung mit den 110-kV-Bestandsanlagen beantragt. Eine detaillierte Beschreibung und Darstellung des Vorhabens ist dem Erläuterungsbericht (Anlage 1) sowie dem Übersichtsplan (Anlage 2) zu entnehmen.

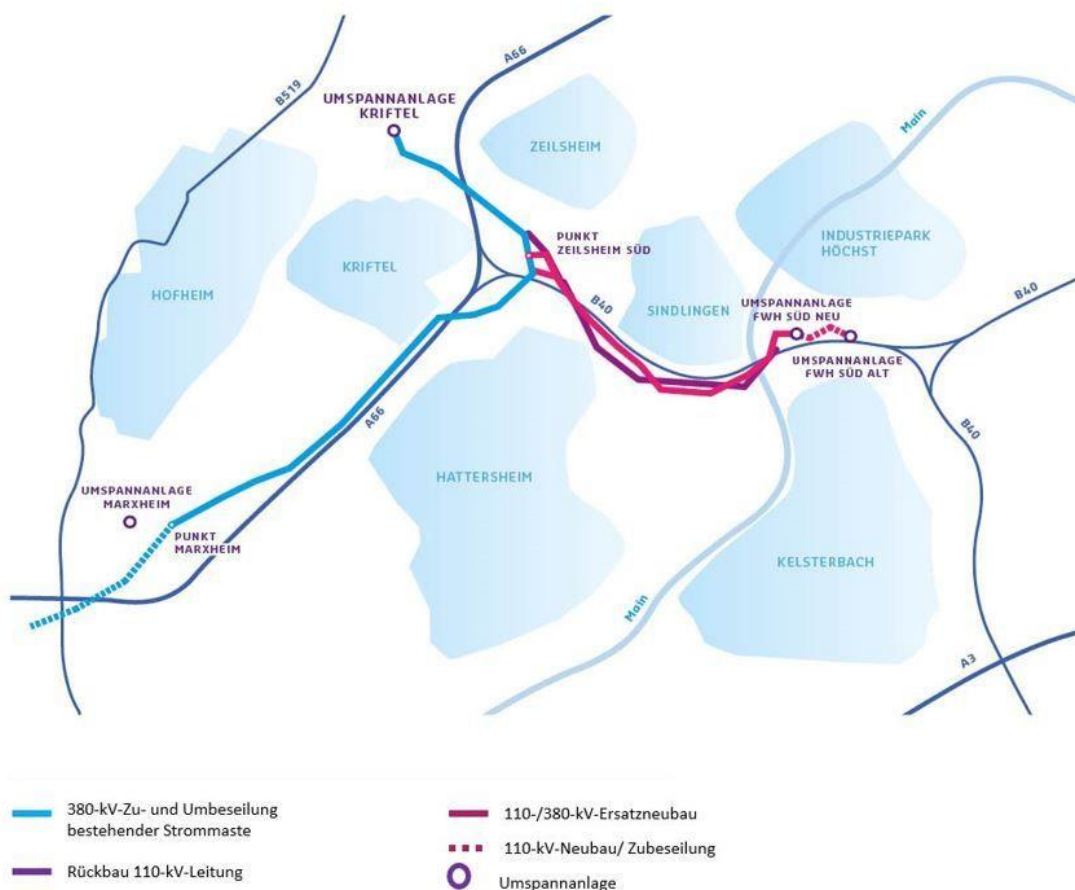


Abbildung 1: Darstellung des Trassenverlaufs (schematisch)

Das Vorhaben umfasst Änderungen an Hochspannungsfreileitungen mit einer Netzfrequenz von 50 Hz und einer Nennspannung größer 1 kV. Hochspannungsfreileitungen sind gem. § 4 Abs. 1 BImSchG i.V.m. der 4. BImSchV nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen [1, 2]. Dennoch sind

insbesondere die Betreiberpflichten nach § 22 BImSchG zu beachten. Hochspannungsfreileitungen stellen Niederfrequenzanlagen gem. § 1 Abs. 2 der 26. BImSchV dar [3]. Im Folgenden werden die im Rahmen der Änderungen der Hochspannungsfreileitungen 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 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. 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 2018 (Build 3181) 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 50413:2009*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- *Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland*. Ausgabe Juli 2018. <https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>

Die für diesen Immissionsbericht verantwortlichen 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 Amprion GmbH vor.

1.1 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. 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 Hochspannungsfreileitungen

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.

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. 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.

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 in Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

1.1.2 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 Verbrauch, d.h. Last tageszeiten-, jahreszeiten- und witterungsabhängig. Bei den Bahnstromfernleitungen 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.

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

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

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

Die Immissionsbeiträge $W(f)$ 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:

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

Darüber hinaus dürfen nach § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV Niederfrequenzanlagen zur Fortleitung von Elektrizität mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Nennspannung von 220 kV und mehr, die in einer neuen Trasse errichtet werden, Gebäude oder Gebäudeteile nicht überspannen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Davon abweichend gelten nach §§ 3 und 4 Abs. 1 der 26. BImSchV für bestimmte Altanlagen spezifische Sonderregelungen für kurzzeitige und kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte.

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. BImSchVVwV) [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.

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 Minimierungsort im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage befindet. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig betrachtet.

Es kann in Abhängigkeit der geplanten Niederfrequenzanlagen 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. 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.

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 Ausgangssituation

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 Hochspannungsleitungen. In Anlage 10.3 Blatt 1 bis 5 ist der Trassenverlauf des gesamten Vorhabens kartografisch dargestellt (M 1:5.000). Die Katasterpläne basieren auf den Geobasisdaten der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (<https://hvb.g.hessen.de>). Dargestellt sind die verschiedenen Leitungsabschnitte des gegenständlichen Vorhabens sowie alle zu berücksichtigenden sich in Parallellage befindenden Freileitungen. Das Vorhaben lässt sich in zwei technische Abschnitte untergliedern: In die 380-kV-Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel mit der Bauleitnummer (Bl.) 4128 und in den 110-/380-kV-Ersatzneubau von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur UA FHW Süd mit der Bl. 4238. Die Freileitungen sollen mit den folgenden wesentlichen Anlagenkenngrößen betrieben werden.

2.1 Technische Parameter

In Deutschland kommen 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 [9]. Demnach sind die zulässigen Spannungsbereiche gemäß Tabelle 2 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.

Die maximale Stromstärke wird durch den thermischen Grenzstrom, d.h. maximal zulässigen Dauerstrom I_D , des jeweiligen Seiltyps als materialbezogene Angabe bestimmt. Tabelle 3 listet die Stromtragfähigkeit der verschiedenen im Bestand vorkommenden und im Vorhaben geplanten Seiltypen in Abhängigkeit der Bündelleiterzahl auf. Es werden diese oder vergleichbare Seiltypen zum Einsatz kommen.

Bezeichnung	Einfachseil	Zweierbündel	Dreierbündel	Viererbündel
AL/ST 240/40	0,645 kA	1,290 kA	1,935 kA	2,580 kA
AL/ST 265/35	0,680 kA	1,360 kA	2,040 kA	2,720 kA
AL/ST 310/100 und AL/ST 300/50	0,740 kA	1,480 kA	2,220 kA	2,960 kA
AL/ST 380/50	0,840 kA	1,680 kA	2,520 kA	3,360 kA
TALACS 265/35	1,060 kA	2,120 kA	3,180 kA	4,240 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: Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_D der im Bestand vorkommenden und im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter.

Die zum Einsatz kommenden Maste setzen sich aus drei Grundformen zusammen – Einebene, Tonne oder Donau. Sie sind in Abbildung 2 gezeigt. 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.

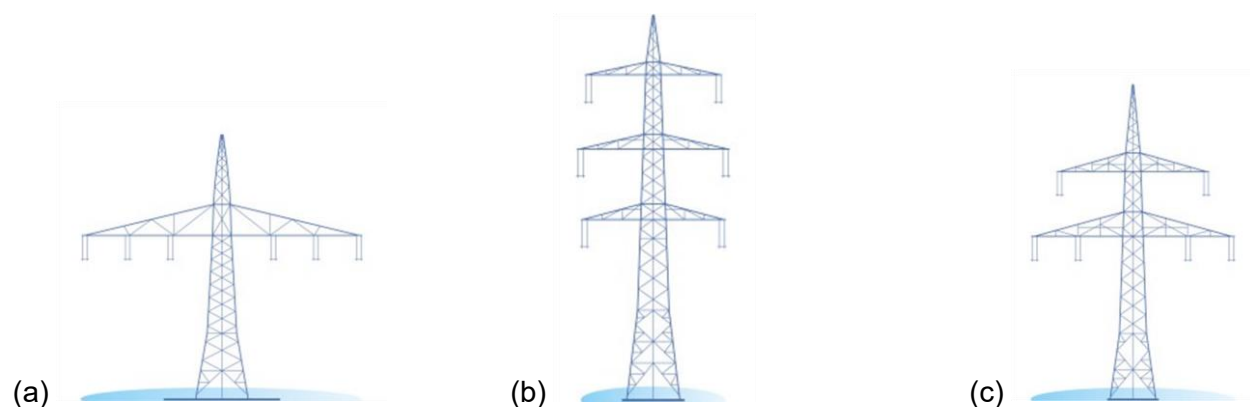
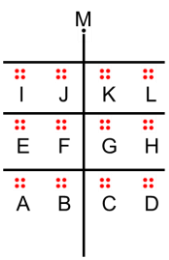


Abbildung 2: Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Tonne, (c) Donau

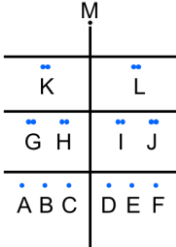
Oberwellenanteile (z.B. 150 Hz, 250 Hz) werden bei der Bewertung nicht betrachtet. Sie können, wie in Kapitel 3.1 näher ausgeführt, vernachlässigt werden.

2.2 Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128

Die Zu- und Umbeseilung soll auf den bestehenden Masten der Bl. 4128, welche den Pkt. Marxheim mit der UA Kriftel verbindet, stattfinden. Aktuell werden bereits drei 380-kV-Stromkreise auf den Gestängen der Bl. 4128 geführt. Ausgehend von Mast 1295 der Bl. 4503 am Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel soll zusätzlich ein vierter 380-kV-Stromkreis aufgelegt werden. Die bestehenden Masten sind sogenannte DD Masttypen, die zukünftig mit folgender Belegung betrieben werden sollen.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	380	ABF	4	AL/ST 265/35
	2	380	CDH	4	AL/ST 265/35 und AL/ACS 265/35
	3	380	EIJ	4	AL/ST 265/35
	4	380	GKL	4	AL/ST 265/35 und AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	M	1	AL/AW 240/50

Von Pkt. Marxheim bis Pkt. Hattersheim verläuft in Parallellage zu der Bl. 4128 die 110-kV-Freileitung Bl. 3017 der Syna GmbH. Folgende Tabelle zeigt die Stromkreisbelegung von Mast 30 der Bl. 3017 bis Mast 47 der Bl. 3017.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	2	110	DEF	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	3	110	GHK	1 oder 2	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	4	110	IJL	1 oder 2	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 177/29

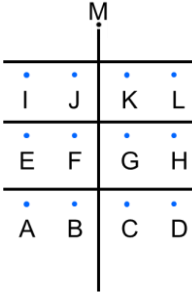
Immissionsschutzbericht 0002 1. Planänderung

Neubau 110-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Pkt. Zeilsheim Süd – FWHöchst Süd, Bl. 4238

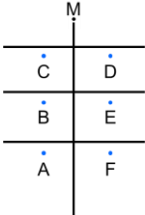
Zubeseilung 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Marxheim – Kriftel, Bl. 4128

Seite 11 von 33

Von Pkt. Hattersheim bzw. Pkt Zeilsheim Nord bis zur UA Kriftel verlaufen in Parallellage zu der Bl. 4128 die 110-kV-Freileitungen Bl. 3016 und Bl. 2319 der Syna GmbH. Folgende Tabelle zeigt die Stromkreisbelegung von Mast 6 der Bl. 3016 bis Mast 8C der Bl. 3016.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABF	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	2	110	CDG	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	3	110	EIJ	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	4	110	HKL	1	AL/ST 265/35 oder AL/ST 240/40
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 177/29

Die Stromkreisbelegung der Bl. 2319 von Mast 794 bis Mast 1799 ist in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	1	AL/ST 380/50
	2	110	DEF	1	AL/ST 310/100
	Erdseil	–	M	1	AY/AW 85/36

Weitere Angaben zu den geplanten Masten wie Schemazeichnungen, Bemaßung, Höhenangaben und Standortdaten finden sich in den Anlagen 3 und 4.

2.3 Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238

Beginnend mit dem Pkt. Zeilsheim Süd ist ein Leitungsersatzneubau bis hin zur neuen UA FWH Süd geplant. Es handelt sich hierbei um eine 110-/380-kV-Freileitung, welche als Gemeinschaftsleitung der Syna GmbH und der Amprion GmbH betrieben werden soll. Die neu zu errich-

tende Freileitung soll auf ca. 3,6 km als Bl. 4238 realisiert werden. Zum Einsatz kommen sogenannte AAD Masttypen, die zukünftig von Mast 2 bis Mast 10 mit folgender Belegung betrieben werden sollen.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	2	AL/ST 265/35
	2	110	DEF	2	AL/ST 265/35
	3	110	GHI	2	AL/ST 265/35
	4	110	JKL	2	AL/ST 265/35
	5	380	MNQ	4	AL/ACS 550/70
	6	380	OPR	4	AL/ACS 550/70
Erdseil		–	S und T	1	AY/ACS 241/40

Ausgehend von Mast 10 der Bl. 4238 werden die vier 110-kV-Stromkreise der Syna GmbH auf einer Länge von ca. 1,0 km über die Maste 14 und 1013 der Bl. 3017 zu den 110-kV-Bestandsanlagen geführt. Die Stromkreisbelegung dieser Maste 14 und 1013 der Bl. 3017 für die vier 110-kV-Stromkreise ist in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	ABC	1	TALACS 265/35
	2	110	DEF	1	TALACS 265/35
	3	110	GHK	1	TALACS 265/35
	4	110	IJL	1	TALACS 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 241/40 oder AY/ACS 184/17

In Parallelage zu den 110-kV-Stromkreisen der Syna GmbH, die von Mast 10 der Bl. 4238 bis zur Bestandsleitung der Bl. 3017 geführt werden, verläuft eine Bahnstromfernleitung der DB Energie. Folgende Tabelle zeigt die Stromkreisbelegung der Maste 1393 bis 1396 der DB Energie.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	110	AB	1	AL/ST 300/50
	2	110	CD	1	AL/ST 300/50
	Erdseil	–	E	1	AL/ST 44/32

Weitere Angaben zu den geplanten Masten wie Schemazeichnungen, Bemaßung, Höhenangaben und Standortdaten finden sich in den Anlagen 3 und 4.

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, 10, 11]. Anwendung finden diese Gleichungen in der Software *WinField* (auch als EFC-400 bezeichnet) der FGEU mbH [12]. 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, 10, 11, 12], für die Berechnung der magnetischen Flussdichte wird das Ampère'sche Gesetz ausgewertet [5, 12]. Die verwendeten Methoden entsprechen damit den in der DIN EN 50413 spezifizierten Anforderungen [13].

Die geplante Zu- und Umbeseilung der Bl. 4128 und der Ersatzneubau der Bl. 4238 sowie die parallel 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 keine Berücksichtigung finden Gebäude und Bewuchs, die auf Grund ihrer Leitfähigkeit das elektrische Feld verzerren, aber den Vorgaben der Betrachtung der freien Ausbreitung der Felder entgegenstehen.

Nach der 26. BImSchV sind die elektrischen und magnetischen Felder bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung zu bestimmen (vgl. Kapitel 1.2.1). Für die Berechnung wird daher stets die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ nach Tabelle 2 sowie der entsprechend der Bündelleiterzahl thermisch maximale Dauerstrom I_D nach Tabelle 3 verwendet. Die Stromstärken über 4 kA beim Viererbündel AL/ACS 550/70 und TALACS 265/35 werden jedoch nach den derzeit gültigen Planungsgrundsätzen der vier Übertragungsnetzbetreiber in der Praxis nicht zugelassen. Der maximale Betriebsstrom beträgt 3,6 kA (in Ausnahmefällen 4 kA) [14]. 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 Wochenintervalls 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 [9]. 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 in einer Höhe von 1 m über Erdbodenoberkante (vgl. 26. BImSchVV Nr. 4 a). Liegen Gebäude oder Gebäudeteile innerhalb des Bewertungsbereichs, so wird der Geschosßboden zur sicheren Seite abgeschätzt. Die Bewertung erfolgt in diesen Fällen in einer Höhe von mindestens 1 m über Geschosßboden. Innerhalb von geschlossenen Räumen wird nur die magnetische Flussdichte angegeben, da das elektrische Feld des Außenraums im Inneren von Gebäuden abgeschirmt wird (vgl. Kapitel 1.1.1).

3.2 Maßgebliche Immissionssorte

Nach der 26. BImSchV sind die elektrischen und magnetischen Felder von Hochspannungsleitung 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 [15].

Nach Ziffer II.3.1 der LAI-Hinweise gilt als Einwirkungsbereich einer Hochspannungsleitung der Bereich, in dem die Niederfrequenzanlage einen signifikanten von der Hintergrundbelastung abhebenden 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.

Die Breite des Einwirkungsbereichs ist bei Freileitungen abhängig von ihrer Nennspannung und bemisst sich als ein an den ruhenden äußeren Leiter angrenzender Streifen. Für 380-kV-Freileitungen gilt gemäß LAI-Hinweisen eine Breite von 20 m zu beiden Seiten. Für 110-kV-Freileitungen eine Breite von 10 m.

3.2.1 Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128

Der gesamte Verlauf der Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel wurde auf maßgebliche Immissionsorte abgesucht. Dabei wurden sowohl Luftbilder als auch gemäß rechtskräftigem Bebauungsplan für die Wohnnutzung vorgesehene Grundstücke ausgewertet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Bei großen Grundstücken mit unterschiedlichen Nutzungen wurden ausgewiesene Nutzungsarten der Grundstücke entsprechend berücksichtigt. Es ergeben sich die folgenden maßgeblichen Immissionsorte, die auch in Anlage 10.3 Blatt 2 bis 3 kartografisch dargestellt sind.

Laufende Nummer	Immissionsort	Nutzungsart	Spannfeld	EMF Übersichts-karte
1	Kriftel Flur 5 Zähler 70	Gewerbe	M10/Bl.4128 zu M11/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
2	Zeilsheim Flur 9 Zähler 10 und 73	Kleingarten	M15/Bl.4128 zu M16/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
3	Kriftel Flur 3 Zähler 19 und 20	Kleingarten	M16/Bl.4128 zu M17/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
4	Kriftel Flur 2 Zähler 103	Kleingarten	M17/Bl.4128 zu M18/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3

Tabelle 4: Maßgebliche Immissionsorte im Bereich der Bl. 4128.

3.2.2 Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238

Der gesamte Verlauf des Ersatzneubaus von Pkt. Zeilsheim Süd bis UA FW Höchst Süd wurde auf maßgebliche Immissionsorte abgesucht. Dabei wurden sowohl Luftbilder als auch gemäß rechtskräftigem Bebauungsplan für die Wohnnutzung vorgesehene Grundstücke ausgewertet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Bei großen Grundstücken mit unterschiedlichen Nutzungen wurden ausgewiesene Nutzungsarten der Grundstücke entsprechend berücksichtigt. Es ergeben sich die folgenden maßgeblichen Immissionsorte, die auch in Anlage 10.3 Blatt 4 bis 5 kartografisch dargestellt sind.

Laufende Nummer	Immissionsort	Nutzungsart	Spannfeld	EMF Übersichts-karte
5	Hattersheim Flur 2 Zähler 37	Kleingarten	M3/Bl.4238 zu M4/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
6	Sindlingen Flur 17 Zähler 181	Kleingarten	M7/Bl.4238 zu M8/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
7	Sindlingen Flur 20 Zähler 300	Freizeitgelände	M8/Bl.4238 zu M9/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
8	Sindlingen Flur 20 Zähler 212 u. 213	Kleingarten	M8/Bl.4238 zu M9/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5

Tabelle 5: Maßgebliche Immissionsorte im Bereich der Bl. 4238.

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 teils um einen Ersatzneubau und teils um eine Um- bzw. Zubeseilungsmaßnahme 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.

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. Für 380-kV-Freileitungen beträgt der Einwirkungsbereich 400 m nach beiden Seiten der Trasse ausgehend von der Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters; für 110-kV-Freileitungen sind es 200 m vom ruhenden äußeren Leiterseil.

3.3.1 Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128

Der gesamte Verlauf der Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel wurde nach maßgeblichen Minimierungsorten überprüft. Dabei wurden sowohl Luftbilder als auch gemäß rechtskräftigem Bebauungsplan für die Wohnnutzung vorgesehene Grundstücke ausgewertet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Bei dichter Bebauung wurden ganze Siedlungsstrukturen berücksichtigt. Es konnten die folgenden maßgeblichen Minimierungsorte ermittelt werden, die auch in Anlage 10.3 Blatt 1 bis 3 kartografisch dargestellt sind.

Laufende Nummer	Minimierungsort	Nutzungsart	Spannfeld	EMF Übersichts-karte
1	Marxheim Flur 30 Zähler 14	Gewerbe	M1295/Bl.4503 zu M1/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 1
2	Marxheim Flur 28 Zähler 50	Gewerbe	M1/Bl.4128 zu M2/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 1
3	Hattersheim Flur 20 Zähler 35	Wohnhaus	M5/Bl.4128 zu M6/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 1
4	Hattersheim Flur 20 Zähler 30	Gewerbe	M6/Bl.4128 zu M7/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 1

Immissionsschutzbericht 0002 1. Planänderung

Neubau 110-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Pkt. Zeilsheim Süd – FWHöchst Süd, Bl. 4238

Zubeseilung 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Marxheim – Kriftel, Bl. 4128

Seite 17 von 33

5, 6	Hattersheim Flur 22	Gewerbe und Wohnhäuser	M7/Bl.4128 zu M9/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
7, 9	Hattersheim Flur 23 und 24	Wohnhäuser und Freibad	M9/Bl.4128 zu M11/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
8	Kriftel Flur 6	Gewerbe und Industrie	M9/Bl.4128 zu M10/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
10, 12	Kriftel Flur 5	Gewerbe und Industrie	M10/Bl.4128 zu M12/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
11	Kriftel Flur 5 Zähler 70	Gewerbe	M10/Bl.4128 zu M11/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
13	Kriftel Flur 4 Zähler 48	Gewerbe	M12/Bl.4128 zu M13/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 2
14	Zeilsheim Flur 9 Zähler 80	Wohnhaus	M14/Bl.4128 zu M15/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
15	Zeilsheim Flur 9 Zähler 10 und 73	Kleingärten	M15/Bl.4128 zu M16/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
16, 20	Zeilsheim Flur 9 und 10	Wohnhaus und Kleingarten	M15/Bl.4128 zu M17/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
17, 19	Kriftel Flur 3	Wohnhäuser	M15/Bl.4128 zu M17/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
18	Kriftel Flur 3 Zähler 15 und 17	Kleingärten	M16/Bl.4128 zu M17/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
21, 25	Zeilsheim Flur 13	Gewerbe und Klein- gärten	M17/Bl.4128 zu M19/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
22, 24	Kriftel Flur 2	Gewerbe und Klein- gärten	M17/Bl.4128 zu M19/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3
23	Kriftel Flur 2 Zähler 103	Kleingarten	M17/Bl.4128 zu M18/Bl.4128	Anlage 10.3 Blatt 3

Tabelle 6: Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4128.**3.3.2 Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238**

Der gesamte Verlauf des Ersatzneubaus von Pkt. Zeilsheim Süd bis UA FW Höchst Süd wurde nach maßgeblichen Minimierungsorten überprüft. Dabei wurden sowohl Luftbilder als auch gemäß rechtskräftigem Bebauungsplan für die Wohnnutzung vorgesehene Grundstücke ausgewer-

tet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Bei dichter Bebauung wurden ganze Siedlungsstrukturen berücksichtigt. Es konnten die folgenden maßgeblichen Minimierungsorte ermittelt werden, die auch in Anlage 10.3 Blatt 4 bis 5 kartografisch dargestellt sind.

Laufende Nummer	Minimierungsort	Nutzungsart	Spannfeld	EMF Übersichtskarte
26	Zeilsheim Flur 9 Zähler 30	Kleingarten	M1799/Bl.2319 zu M1/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
27	Hattersheim Flur 2 Zähler 66	Schule	M3/Bl.4238 zu M4/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
28	Hattersheim Flur 2 Zähler 37	Kleingarten	M3/Bl.4238 zu M4/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
29, 30, 33	Sindlingen Flur 13, 14, 15 und 16	Wohnhäuser, Gewerbe, Kleingärten	M4/Bl.4238 zu M7/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
31, 32	Hattersheim Flur 4	Gewerbe	M5/Bl.4238 zu M7/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 4
34	Sindlingen Flur 17	Wohnhäuser und Kleingärten	M7/Bl.4238 zu M8/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
35	Sindlingen Flur 17 Zähler 181	Kleingarten	M7/Bl.4238 zu M8/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
36	Sindlingen Flur 20 Zähler 300	Freizeitgelände	M8/Bl.4238 zu M9/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
37, 39, 40	Sindlingen Flur 19, 20, 21	Wohnhäuser und Kleingärten	M8/Bl.4238 zu M10/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
38	Sindlingen Flur 20 Zähler 212 u. 213	Kleingarten	M8/Bl.4238 zu M9/Bl.4238	Anlage 10.3 Blatt 5
41, 43	Kelsterbach Flur 1	Wohnhäuser	M10/Bl.4238 zu M1013/Bl.3017	Anlage 10.3 Blatt 5
42	Kelsterbach Flur 1	Industrie	M11/Bl.4238 zu Portal FWHS neu	Anlage 10.3 Blatt 5
44	Schwanheim Flur 29	Industrie	M1013/Bl.3017 zu M12C/Bl.3017	Anlage 10.3 Blatt 5

Tabelle 7: Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4238.

4 Ergebnisse

Die Bewertung erfolgt entsprechend der einzelnen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder. Zunächst werden die Ergebnisse im Hinblick auf die einzuhaltenden Grenzwerte unter Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen anderer Anlagen dargelegt (i.S.v. Kapitel 1.2.1). Es folgen Aussagen zur Beachtung des Überspannungsverbots und zur Beachtung des Gebots zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden. Danach wird die Bewertung im Hinblick auf die Beachtung des Minimierungsgebots dargelegt (i.S.v. Kapitel 1.2.2).

4.1 Grenzwerteinhaltung

An allen maßgeblichen Immissionsorten (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5) werden die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV (vgl. Tabelle 1) eingehalten. Die Immissionsbeiträge anderer Niederfrequenzanlagen wurden hierbei berücksichtigt. Die ermittelten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten sind in nachfolgender Tabelle 8 aufgeführt:

Lfd. Nummer	Maßgeblicher Immissionsort	Elektrisches Feld		Magnetisches Feld		Anlage
		Feldstärke	Grenzwertauslastung	Flussdichte	Grenzwertauslastung	
1	Kriftel Flur 5 Zähler 70	2,4 kV/m	48%	15 µT	15%	10.2.1
2	Zeilsheim Flur 9 Zähler 10 und 73	1,3 kV/m	26%	10 µT	10%	–
3	Kriftel Flur 3 Zähler 19 und 20	2,5 kV/m	50%	16 µT	16%	–
4	Kriftel Flur 2 Zähler 103	2,6 kV/m	52%	17 µT	17%	10.2.2
5	Hattersheim Flur 2 Zähler 37	1,4 kV/m	28%	24 µT	24%	–
6	Sindlingen Flur 17 Zähler 181	1,0 kV/m	20%	15 µT	15%	–
7	Sindlingen Flur 20 Zähler 300	1,2 kV/m	24%	23 µT 22 µT	23% 22%	–
8	Sindlingen Flur 20 Zähler 212 u. 213	2,0 kV/m 1,9 kV/m	40% 38%	33 µT 32 µT	33% 32%	10.2.3

Tabelle 8: Feldimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten.

Für die maßgeblichen Immissionsorte mit der voraussichtlich stärksten Exposition wurden die Nachweise für Niederfrequenzanlagen gemäß LAI-Hinweisen erstellt. Es ergeben sich dabei drei Nachweise, nämlich für jeden Abschnitt mit technischen Unterschieden einer. Für die 380-kV-Zu- und Umbeseilung (Bl. 4128) stellt der maßgebliche Immissionsort Kriftel Flur 2 Zähler 103 (Lfd. Nr. 4) den maßgeblichen Immissionsort mit der voraussichtlich stärksten Exposition dar (vgl. Tabelle 8 Lfd. Nrn. 1 bis 4). Jedoch verlaufen, wie in Kapitel 2.2 dargestellt, von Pkt. Marxheim bis Pkt. Hattersheim eine 110-kV-Freileitung (Bl. 3017) und von Pkt. Hattersheim bzw. Pkt. Zeilsheim Nord bis zur UA Kriftel zwei 110-kV-Freileitungen (Bl. 3016 und Bl. 2319) in Parallelage. Diese beiden Abschnitte weisen insofern technische Unterschiede auf und müssen somit getrennt voneinander betrachtet werden, weshalb für beide ein entsprechender Nachweis für den maßgeblichen Immissionsort mit der voraussichtlich stärksten Exposition (Lfd. Nrn. 1 und 4) erstellt wurde - siehe Anlage 10.2.1 und 10.2.2. Für den 110-/380-kV-Ersatzneubau (Bl. 4238) stellt der maßgebliche Immissionsort Sindlingen Flur 20 Zähler 212 u. 213 (Lfd. Nr. 8) den maßgeblichen Immissionsort mit der voraussichtlich stärksten Exposition dar (vgl. Tabelle 8 Lfd. Nrn. 4 bis 8). Der entsprechende Nachweis findet sich in Anlage 10.2.3. Die betrachteten Orte (Lfd. Nrn. 1, 4 und 8) sind damit repräsentativ für ihren jeweiligen Abschnitt, d.h. die Immissionen an allen anderen maßgeblichen Immissionsorten im jeweiligen Abschnitt sind geringer als an dem im Nachweis betrachteten Ort. Alle Nachweise enthalten detaillierte Angaben zur Nachvollziehbarkeit der Berechnungen der elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten an den maßgeblichen Immissionsorten. Ein Vergleich der Feldimmissionen zur Bestandsituation ist für die drei repräsentativen maßgeblichen Immissionsorte mit stärkster Exposition in Anlage 10.6 gezeigt.

Die Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen ortsfester Hochfrequenzanlagen ist hier nicht erforderlich. Laut EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur (<https://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/>, abgerufen am 02.10.2019) befindet sich im Umkreis von mindestens 10 km Entfernung zum geplanten Vorhaben keine Funkanlagenstandorte mit einer Frequenz kleiner-gleich 10 MHz. Der entsprechende Auszug aus der EMF-Datenbank ist in Anlage 10.4 beigefügt. 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 [15].

Das geplante Vorhaben mit der 380-kV-Zu- und Umbeseilung (Bl. 4128) und dem 110-/380-kV-Ersatzneubau (Bl. 4238) erfüllt damit die Anforderungen aus §3 der 26. BImSchV sowohl hinsichtlich der Grenzwertvorgaben als auch der Summenbetrachtung von Immissionsbeiträgen anderer Anlagen.

4.2 Überspannungsverbot und Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden

Das Überspannungsverbot sowie ein möglichst großer Abstand zur Wohnbebauung sind bereits in der Planung und Trassierung wichtige Grundsätze. Dementsprechend sind in diesem Vorhaben keine Gebäudeüberspannungen vorgesehen. Dies lässt sich auch aus der kartografischen Darstellung in Anlage 10.3 Blatt 1 bis 5 entnehmen.

Bei der Frage nach erheblichen Belästigungen oder Schäden geht es um den Effekt der sogenannten Funkenentladung, beispielsweise durch Aufladung des Fahrrads oder eines Regenschirms unter einer Höchstspannungsfreileitung. Dieser Effekt ist physikalisch erklärbar und 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 die leitfähigen Teile des Fahrrades, des Regenschirms oder auch anderer Gegenstände kommt es dann 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 tritt bei allen Spannungsebenen der Freileitung auf und lässt sich nicht vollständig vermeiden. Erhebliche Belästigungen oder Schäden sind jedoch bei Einhaltung eines Wertes von 5 kV/m für das elektrische Feld auszuschließen. Dieser Wert wird im gegenständlichen Vorhaben eingehalten bzw. deutlich unterschritten (vgl. Kapitel 4.1).

4.3 Minimierungsgebot

Das Minimierungsgebot gemäß § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV i.V.m. 26. BImSchVVwV wird beachtet. 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.

4.3.1 Vorprüfung

Das Ergebnis der Vorprüfung ist in Kapitel 3.3 dargestellt und hat sowohl für die 380-kV-Zu- und Umbeseilung (Bl. 4128) wie auch für den 110-/380-kV-Ersatzneubau (Bl. 4238) Minimierungsorte ergeben (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7).

4.3.2 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 am

Bezugspunkt, wohingegen bei Lage innerhalb des Bewertungsbereichs eine individuelle Minimierungsprüfung erfolgte. Bei der individuellen Minimierungsprüfung wurde zusätzlich geprüft, ob eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an maßgeblichen Minimierungsorten innerhalb des Bewertungsbereichs führt.

Der Bewertungsabstand beträgt für 380-kV-Freileitungen 20 m und für 110-kV-Freileitungen 10 m nach beiden Seiten der Trasse ausgehend von der Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters [8]. Es ergibt sich damit ein Bewertungsbereich der ebenso groß ist wie der Einwirkungsbe-
reich gemäß LAI-Hinweisen (vgl. Kapitel 3.2). Das bedeutet, die maßgeblichen Minimierungsorte für die eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich war, sind identisch mit den maßgeblichen Immissionsorten. Dies betrifft die maßgeblichen Minimierungsorte mit der laufenden Nummer 11, 15, 18, 23, 28, 35, 36 und 38. 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. Diese repräsentativen Bezugspunkte wurden im Bewertungsabstand in Spannfeldmitte gesetzt, da in der Regel in Spannfeldmitte die größten Feldstärken am Boden auftreten (vgl. Kapitel 1.1).

Die Prüfung des Minimierungspotential hat bei Drehstromfreileitungen auf Basis der in Nr. 5.3.1 der 26. BImSchVV aufgeführten technischen Möglichkeiten zu erfolgen und gliedert sich in folgende Maßnahmen.

- Abstandsoptimierung (Nr. 5.3.1.1) z.B. durch Erhöhung des Bodenabstandes durch zusätzliche Masterhöhen
- Elektrische Schirmung (Nr. 5.3.1.2) z.B. durch zusätzliche Erdungsseile unterhalb der Leiterseile
- Minimieren der Seilabstände (Nr. 5.3.1.3) z.B. durch Verkürzung der Seilabstände zwischen den Aufhängepunkten der Leiterseile an den Traversen
- Optimieren der Mastkopfgeometrie (Nr. 5.3.1.4) durch Veränderung der Abstände von Phasen und Stromkreisen untereinander
- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.1.5) durch Veränderung der Phasenfolge am Mast

Im Zu- und Umbeseilungsabschnitt von Pkt. Marxheim bis UA Kriftel, Bl. 4128, soll auf dem bestehenden Gestänge der Bl. 4128 ein zusätzlicher 380-kV-Stromkreis mitgeführt werden. Das Minimierungsgebot bezieht sich nur auf diese neue Leitung (vgl. Kapitel 1.2.2) und insofern sind in Bezug auf die Beachtung des Minimierungsgebots keine Maßnahmen am Bestand vorzunehmen. Für die ermittelten maßgeblichen Minimierungsorte bzw. Bezugspunkte (vgl. Tabelle 6) ist damit das Optimieren der Leiteranordnung die einzige technische Möglichkeit mit Minimierungspotential.

Beim Ersatzneubauabschnitt von Pkt. Zeilsheim Süd bis UA FWH Süd, Bl. 4238, sind aufgrund des Neubaus grundsätzlich alle technischen Möglichkeiten umsetzbar. Es wurden insofern alle

Minimierungsmaßnahmen hinsichtlich ihres Minimierungspotentials für die ermittelten maßgeblichen Minimierungsorte bzw. Bezugspunkte (vgl. Tabelle 7) bewertet.

Nach Nr. 3.2.2.3 der 26. BImSchVVwV 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 Maßnahmenbewertung

Die Maßnahmenbewertung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen identifizierten Minimierungsmaßnahmen getrennt für die Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel (Bl. 4128) und den Ersatzneubau von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur UA FHW Süd (Bl. 4238). Es wird hierbei insbesondere die Verhältnismäßigkeit der technischen Möglichkeiten zur Minimierung bewertet. 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. Eine Maßnahme wird generell soweit angewendet, wie sie mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand und Nutzen umgesetzt werden kann.

4.3.3.1 Zu- und Umbeseilung Pkt. Marxheim – UA Kriftel, Bl. 4128

Für die 380-kV-Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel wurde als Minimierungsmaßnahme das Optimieren der Leiteranordnung identifiziert (vgl. Kapitel 4.3.2) und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit angewendet.

Die Leiteranordnung beschreibt die Anordnung der Phasen, d.h. die Anschlussreihenfolge der Leiterseile. Im Drehstromsystem besteht jeder Stromkreis aus drei Leiterseilen, deren Spannungen / Ströme entsprechend dem elektrischen Grundsatz von Drehstromsystemen zeitlich jeweils um 120° versetzt schwingen. Sie werden als Phasen u, w und v bezeichnet. Durch die Phasenverschiebung der Spannungen / Ströme, erreichen auch die elektrischen und magnetischen Felder eines jeden Leiterseils ihr Maximum zueinander zeitversetzt. Bei optimierter Anordnung der Phasen am Mast, kann somit eine Kompensation der am Boden entstehenden elektrischen und magnetischen Felder erzielt werden.

Ein Vergleich der nicht optimierten Leiteranordnung im Bestand mit angenommenen vier 380-kV-Stromkreisen und der geplanten optimierten Leiteranordnung zeigt die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder. In Tabelle 9 sind für die maßgeblichen Minimierungsorte Kriftel Flur 5 Zähler 70 (Lfd. Nr. 11) und Kriftel Flur 2 Zähler 103 (Lfd. Nr. 23) die Maximalwerte der berechneten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten aufgeführt. Diese Minimierungsorte stellen unter Berücksichtigung der Felder bestehender Leitungen die maßgeblichen Minimierungsorte mit stärkster Exposition dar. Das heißt, an allen übrigen Minimierungsorten sind die elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten geringer (Erst-Recht-Schluss).

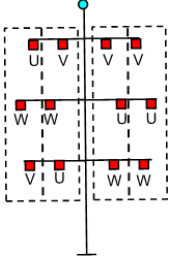
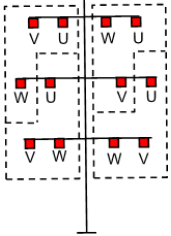
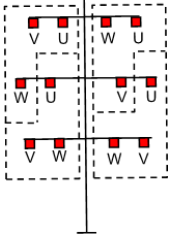
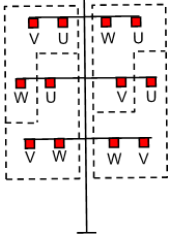
Leiteranordnung	Kriftel Flur 5 Zähler 70	Kriftel Flur 2 Zähler 103
Bestand (vier 380-kV- Stromkreise angenommen)		
	Elektrische Feldstärke 2,7 kV/m Magnetische Flussdichte 19 µT	Elektrische Feldstärke 2,9 kV/m Magnetische Flussdichte 21 µT
Optimiert (siehe Anlage 10.2.1 und 10.2.2)		
	Elektrische Feldstärke 2,4 kV/m Magnetische Flussdichte 15 µT	Elektrische Feldstärke 2,6 kV/m Magnetische Flussdichte 17 µT

Tabelle 9: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (Bestand mit vier 380-kV-Stromkreisen) und der geplanten optimierten Leiteranordnung.

Das Optimieren der Leiteranordnung führt zu einer Reduzierung auf mindestens 2,6 kV/m und 17 µT. Dies entspricht einer maximalen Grenzwertausschöpfung von 52% für das elektrische Feld und 17% für das magnetische Feld. Die Minimierungsmaßnahme wurde auf gesamter Strecke von Pkt. Marxheim bis zur UA Kriftel bei allen Spannungsfeldern angewendet. Damit umfasst die Optimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte (Lfd. Nrn. 1 - 23) und wurde wirksam umgesetzt.

4.3.3.2 Ersatzneubau Pkt. Zeilsheim Süd – UA FW Höchst Süd, Bl. 4238

Für den 110-/380-kV-Ersatzneubau von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur UA FHW Süd wurden als Minimierungsmaßnahmen die Abstandsoptimierung, die elektrische Schirmung, das Minimieren der Seilabstände sowie das Optimieren der Mastkopfgeometrie und der Leiteranordnung identifiziert (vgl. Kapitel 4.3.2) und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit angewendet. Die Anwendung der Minimierungsmaßnahmen kann jedoch nicht unabhängig voneinander erfolgen. Das Ändern der Mastkopfgeometrie hat beispielsweise gleichzeitig eine Auswirkung auf die Seilabstände. Auch die Wirksamkeit der Minimierungsmaßnahme hinsichtlich ihrer Reduktion von elektrischen und magnetischen Feldern ist unterschiedlich. Zudem kann eine Maßnahme zwar technisch umsetzbar aber nachteilige Wirkungen auf andere Schutzgüter haben. All diese Abhängigkeiten sind bei der Festlegung von Minimierungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Ziel bei der Planung des Ersatzneubaus war es die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV von 5 kV/m und 100 µT (vgl. Tabelle 1) soweit wie möglich zu unterschreiten. Eine generell hohe Wirksamkeit hierbei hat das Optimieren der Mastkopfgeometrie, der Leiteranordnung und der Seilabstände. Es wurde entsprechend mit diesen Minimierungsmaßnahmen begonnen.

Optimieren der Mastkopfgeometrie

Unter der Mastkopfgeometrie wird die geometrische Anordnung der Leiterseile am Mast, wie bspw. die Tonnenanordnung oder die Donauanordnung, verstanden (siehe Abbildung 2). Die Mastbauart (z.B. Stahlgitter oder Stahlvollwand) ist hierbei unwesentlich.

Durch die Mitführung der 110-kV-Stromkreise der Syna GmbH sind bis zu sechs Stromkreise auf den Masten zu tragen. Beim Optimieren der Mastkopfgeometrie fiel die Wahl daher auf ein AAD Masttyp mit zwei Einebenen für die vier 110-kV-Stromkreise und einer Donauanordnung für die zwei 380-kV-Stromkreise (vgl. Kapitel 2.3). Die stärksten Felder entstehen an den 380-kV-Stromkreisen aufgrund ihrer hohen Spannung und großen Stromtragfähigkeit der geplanten Leiterseile (vgl. Kapitel 2.1). Sie werden daher auf die oberste Position am Mast gelegt, wodurch der Abstand zum Boden vergrößert und damit die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte am Boden reduziert werden. Die kompakte Anordnung der 380-kV-Stromkreise als Donau oben und die breite Anordnung der 110-kV-Stromkreise als Einebene darunter, führt außerdem dazu, dass insb. die elektrischen Felder der 380-kV-Stromkreise abgeschirmt werden.

Eine Alternative wäre die 380-kV-Stromkreise als Tonnenanordnung auszuführen. Dies würde allerdings zu keiner nennenswerten Feldreduktion führen, jedoch eine zusätzliche Traversenebene und damit eine deutliche Erhöhung der Maste erfordern. Eine Erhöhung von Masten ist jedoch mit zusätzlichen Belastungen verbunden wie im Folgenden bei der Bewertung der Abstandsoptimierung aufgezeigt wird. Die geplante Ausführung als Donau-Doppel-Einebene ist daher vorzugswürdig.

Weitere theoretische Varianten wie die 110-kV-Stromkreise als Donau oder Tonne oder die 380-kV-Stromkreise als Einebene auszuführen würden im Gegensatz zur geplanten Mastkopfgeometrie zu einer mindestens lokalen Erhöhung der elektrischen Feldstärken oder magnetischen Flussdichten an maßgeblichen Minimierungsorten direkt unter der Leitung führen. Sie kommen daher nicht in Betracht, da eine Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort die Anwendung ausschließt (vgl. Kapitel 1.2.2).

Optimieren der Leiteranordnung

Die Leiteranordnung beschreibt die Anordnung der Phasen, d.h. die Anschlussreihenfolge der Leiterseile. Sie nutzt wie in Kapitel 4.3.3.1 beschrieben die 120° Phasenverschiebung der Spannungen und Ströme im Drehstromsystem zur Feldkompensation aus.

Durch den Ersatzneubau kann direkt eine optimierte Leiteranordnung gewählt werden, die die Erfordernisse der elektrischen Symmetrie sowie die Beeinflussung der mitgeführten Stromkreise der Syna GmbH berücksichtigt. Beim Optimieren der Leiteranordnung wurden physikalische Grundsätze wie ein regelmäßiger Phasenwechsel oder keine gleichen Phasen auf einer Traverse angewendet. Bei der Reihenfolge der Phasen u, w und v kann unter Beachtung der vorgenannten Bedingungen zwischen einem hohen Feld direkt unter der Leitung verbunden mit einem steilen

Abfall des Feldes mit zunehmendem Abstand oder einem niedrigeren Feld unter der Leitung mit einem etwas flacheren Abfall des Feldes optimiert werden. In diesem Vorhaben liegen maßgebliche Minimierungsorte sowohl im Nahbereich direkt unter der Leitung als auch im Fernbereich in einigen oder mehreren Metern Abstand zur Leitung (siehe Tabelle 7). Es wurde daher die Leiteranordnung so optimiert, dass sich ein Feldverlauf mit im Vergleich niedrigerem Feld direkt unter der Leitung dafür aber etwas flacherem Abfall des Feldes mit zunehmendem Abstand ergibt. Damit ist die Optimierung für alle maßgeblichen Minimierungsorte wirksam. Die geplante Leiteranordnung zeigt Abbildung 3 (siehe auch Anlage 10.2.3).

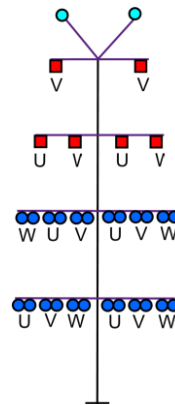


Abbildung 3: Optimierte Leiteranordnung der Bl. 4238

Minimieren der Seilabstände

Mit den Seilabständen ist der Abstand der Aufhängepunkte der Leiterseile an den Traversen gemeint, nicht der Abstand der einzelnen Bündelleiter untereinander, der beim Viererbündel typischerweise 400 mm beträgt.

Durch Minimieren der Seilabstände kann unter Berücksichtigung der optimierten Leiteranordnung eine hohe Feldkompensation erreicht werden, das zu niedrigeren elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten am Boden führt. Die Seilabstände können jedoch nicht beliebig verkürzt werden. Es müssen die Mindestisolierluftstrecken eingehalten werden, um einen Überschlag zwischen den Leiterseilen untereinander oder zwischen Leiterseilen und geerdeten Teilen zu verhindern. Diese Mindestabstände sind durch die DIN EN 50341-1 [16] und DIN EN 50341-2-4 [17] vorgegeben.

Die Wahl der Aufhängepunkte der Leiterseile untereinander orientiert sich auf der gesamten Ersatzneubaustrecke an diesen Mindestabständen, so dass zwischen den Stromkreisen auf der linken und auf der rechten Mastseite eine hohe Kompensation erreicht wird.

Der Abstand der Leiterseile zum Mast wird größer gewählt als die Mindestisolierluftstrecken. Der Grund sind Sicherheitsabstände für Personen, die zur Wartung der 380-kV-Stromkreise den Mast besteigen müssen. Würden nur die Mindestabstände zwischen den Leiterseilen und dem Mast berücksichtigt, müssten die vier 110-kV-Stromkreise der Syna GmbH zur Wartung der darüber liegenden 380-kV-Stromkreise abgeschaltet werden. Das Abschalten von vier 110-kV-Stromkreisen kann jedoch die Versorgungssicherheit der Region und der Farbwerke Höchst gefährden, weshalb dies keine Option darstellt.

Abstandsoptimierung

Die Wirksamkeit der Abstandsoptimierung ist in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab. Grundsätzliches Ziel dieser Maßnahme ist es, den Abstand der Leiterseile zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern.

Dieses Ziel konnte durch Bündelung des Trassenverlaufs mit der Bundesstraße 40 für maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich erreicht werden. Es wurde insb. von Wohnhäusern, Gewerbebetrieben und einer Schule in Hattersheim (Flur 2 bis 4 und Lfd. Nrn. 27, 31, 32) abgerückt.

Für maßgebliche Minimierungsorte im Bewertungsbereich (Lfd. Nrn. 28, 35, 36 und 38) führen möglichst hohe Maste und ein geringer Seildurchhang zu einer Verringerung der Feldexposition. Die stärkste Exposition wurde für den maßgeblichen Minimierungsort Sindlingen Flur 20 Zähler 212 u. 213 (Lfd. Nr. 38) prognostiziert (vgl. Tabelle 8). An dieser Stelle ist der Seildurchhang aufgrund der geplanten großen Spannfeldlänge von knapp 400 m am größten. Nach DIN EN 50341-1 [16] und DIN EN 50341-2-4 [17] darf der Seildurchhang zu einem minimalen Bodenabstand von 6 m führen.

Ziel der Minimierung war es diesen Bodenabstand zu erhöhen. Eine Option bestand in der Errichtung zusätzlicher Maste zur Verkürzung der Spannfeldlängen, wodurch der Seildurchhang geringer ausfällt und damit der Bodenabstand vergrößert wird. Die für die maßgeblichen Minimierungsorte entscheidenden Spannfelder von Mast 7 bis Mast 9 (vgl. Tabelle 7) überspannen mehrere Kleingartenanlagen. Jeder zusätzliche Mast würde einen großen Eingriff in diese Anlagen bedeuten und bei einem Teil der Kleingärten die weitere Nutzung mindestens einschränken. Da die Grenzwerte durch die anderen zuvor beschriebenen Minimierungsmaßnahmen bereits sicher eingehalten werden können, wurde diese Option als unverhältnismäßig eingestuft.

Es bleibt damit die Masterhöhung als Option zur Vergrößerung des Bodenabstandes der Leiterseile. Eine Masterhöhung hat jedoch grundsätzlich visuelle Auswirkungen auf das Schutzgut Mensch und führt zu einer Beeinträchtigung des Schutzgut Landschaft aufgrund einer größeren Rauminanspruchnahme. Auf ökonomischer Seite sind deutliche Mehrkosten durch Material und Bauausführung sowie Entschädigungszahlungen aufgrund der dinglichen Sicherung von Nutzungsrechten zu erwarten. In Abwägung dieser Belange und unter Beachtung der normativen Vorgaben wurden für den gesamten Ersatzneubau der Bl. 4238 Masthöhen zwischen 62 m und 77 m gewählt. Am maßgeblichen Minimierungsort mit der stärksten Exposition (Lfd. Nr. 38) wird dadurch ein minimaler Bodenabstand von 9,8 m erreicht (siehe Anlage 10.2.3).

Der Vergleich der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte am maßgeblichen Minimierungsort mit der stärksten Exposition bei dem normativen Mindestabstand von 6 m und dem geplanten Bodenabstand von 9,8 m, zeigt die Minimierung:

- 6 m Bodenabstand: 3,3 kV/m und 69 µT
- 9,8 m Bodenabstand: ~~2,0 kV/m und 33 µT~~ 1,9 kV/m und 32 µT

Eine Erhöhung der Maste darüber hinaus würde ein Abheben gegenüber den straßenbegleitenden Gehölzen an der B40 und damit den positiven Effekt der Bündelung mit der natürlichen Vegetation unwirksamer machen, was eine deutliche visuelle Auswirkung bedeutet. Zudem wäre ein größerer Eingriff in das Schutzgut Boden erforderlich aufgrund von dann benötigten stärkeren Fundamenten. Im Hinblick auf die erzielte Reduktion der elektrischen und magnetischen Felder

wird eine Erhöhung der Maste über die geplanten durchschnittlichen 69,5 m als nicht verhältnismäßig angesehen.

Elektrische Schirmung

Die Wirksamkeit der elektrischen Schirmung ist niedrig und überwiegend auf die elektrische Feldstärke beschränkt. Durch Auflage zusätzlicher, in der Regel geerdeter Leiterseile, soll eine Reduktion insb. der elektrischen Felder am Boden erreicht werden.

Wie bereits zuvor beschrieben, wird durch die Wahl der Mastkopfgeometrie mit den 110-kV-Stromkreisen unterhalb der 380-kV-Stromkreise bereits erreicht, dass die elektrischen Felder am Boden durch die 110-kV-Stromkreise bestimmt werden und die 380-kV-Stromkreise nicht mehr maßgebend sind.

Das Anbringen eines zusätzlichen geerdeten Schirmseils noch unterhalb der 110-kV-Stromkreise erfordert eine zusätzliche Traversenebene. Unter Berücksichtigung der Mindestisolierluftstrecken zwischen dem Schirmseil und den spannungsführenden Leiterseilen sowie des einzuhaltenden Mindestbodenabstandes führt die zusätzliche Traversenebene für das Schirmseil zu einer deutlichen Erhöhung der Masten. Die nachteiligen Auswirkungen einer Masterrhöhung wurden im vorangegangenen Abschnitt erläutert. Es ist außerdem zu beachten, dass ab einer Masthöhe von 100 m die Zustimmung der Luftfahrtbehörde vor einer Umsetzung erforderlich ist (vgl. §§ 12 und 14 LuftVG).

Eine Schirmung ist zudem nur effektiv, wenn mehrere Schirmseile gleichzeitig aufgelegt sind. Bei einem einzelnen Schirmseil tritt nur eine sehr lokale Reduktion der Felder auf, die an anderer Stelle eines maßgeblichen Minimierungsortes zu einer Verschlechterung führen kann, so dass eine solche Maßnahme nicht durchgeführt werden dürfte, da eine Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort die Anwendung ausschließt (vgl. Kapitel 1.2.2). Die Anwendung mehrerer Schirmseile hat jedoch Auswirkungen auf die Statik, so dass stärkere Maste und Fundamente eingesetzt werden müssen. Dies bringt wiederum höhere Kosten mit sich und bedeutet einen stärkeren Eingriff in das Schutzgut Boden.

In Abwägung dieser wesentlichen Nachteile und der nur niedrigen Wirksamkeit wird von einer Auflage zusätzlicher Schirmseile abgesehen.

Die Wahl der vorgenannten Minimierungsmaßnahmen ist für den kurzen Abschnitt von Mast 10 zu den 110-kV-Bestandsanlagen teilweise eingeschränkt aufgrund von Zwangspunkten bei der Verbindung von Neubauten mit Bestandsmasten und Anlageneinführungen. Die Planungen für die vier 110-kV-Stromkreise der Syna GmbH sehen vor, dass sie ab Mast 10 abzweigen und mit der bestehenden Bl. 3017 und 110-kV-Anlage FWH Süd verbunden werden. Hierzu soll der bestehende Mast 14 der Bl. 3017 neu beseilt, sowie Mast 1013 der Bl. 3017 und die Einführung in die 110-kV-Anlage (Mast 12B) neu gebaut werden. Hinzu kommt eine Verbindung der 380-kV-

Anlage mit der 110-kV-Anlage über die Maste 1013 und 12C. Bei der Umsetzung der Minimierungsmaßnahmen wurde darauf geachtet bei der Mastkopfgeometrie die vorzugswürdige Kombination aus Donau und Einebene beizubehalten, wenn vier oder mehr Stromkreisen geführt werden. Bei zwei Stromkreisen wurde die Einebene gewählt. Das Minimieren der Seilabstände wurde wie zuvor beschrieben angewandt. Auch die optimierte Leiteranordnung konnte für die Stromkreise mit Ausgangspunkt an Mast 10 beibehalten werden. Die Höhe der Maste direkt vor den Anlagen musste verringert werden, damit eine Einführung der Stromkreise in die Anlagen erfolgen kann. Auf zusätzliche Schirmseile wurde verzichtet, da sie für die in diesem Bereich entfernt liegenden Minimierungsorte keine messbare feldreduzierende Wirkung haben.

Zusammenfassend bedeutet das für die Minimierung, dass durch Anwendung der beschriebenen Maßnahmen auf gesamter Strecke von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur UA FWH Süd eine Reduzierung der elektrischen Felder auf eine maximale Grenzwertausschöpfung von 40% und eine Reduzierung der magnetischen Felder auf eine maximale Grenzwertausschöpfung von ~~33%~~ 32% erreicht werden konnte. Diese Werte gelten am maßgeblichen Minimierungsort mit der stärksten Exposition (Lfd. Nr. 38). An allen übrigen Minimierungsorten treten geringere elektrische Feldstärken und magnetische Flussdichten auf. Damit umfasst die Optimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte (Lfd. Nrn. 26 - 44) und wurde 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 10.5.

6 Fazit

Die Amprion GmbH plant den Umbau des Anschlusspunktes Farbwerke Höchst (FWH) Süd zur Realisierung einer 380-kV-Netzanbindung. Dies erfordert eine 380-kV-Zu- und Umbeseilung von Pkt. Marxheim bis hin zur UA Kriftel auf einem bereits bestehenden Gestänge, sowie einen 110-/380-kV-Ersatzneubau von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur neuen 380-kV-Anlage FWH Süd. Die durch diese Vorhaben hervorgerufenen Immissionen elektrischer und magnetischer Felder wurden in diesem Bericht geprüft.

Die Bewertung erfolgte gemäß den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben der 26. BImSchV und 26. BImSchVVwV. Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, werden die Anforderungen an Niederfrequenzanlagen (§ 3 der 26. BImSchV) eingehalten. Die maximal prognostizierten Werte für die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte betragen 2,6 kV/m und ~~33 µT~~ 32 µT (vgl. Tabelle 8). Sie liegen damit deutlich unterhalb der Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV von 5 kV/m und 100 µT.

Diese Maximalwerte (2,6 kV/m und ~~33 µT~~ 32 µT) gelten für die Immissions- bzw. Minimierungsorte direkt unter der Leitung. Bereits in einem seitlichen Abstand von 20 m weisen die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte maximal noch 1,9 kV/m und 16 µT auf. Ausgehend von diesem Abstand nehmen die Felder streng monoton ab – näherungsweise mit $1/r^2$ (Abstandsquadratgesetz). Das bedeutet, dass beispielsweise in 100 m Abstand zur Leitung die Stärke der Felder nur noch ein Fünfundzwanzigstel der Werte in 20 m Abstand betragen. In 400 m nur noch ein Vierhundertstel.

Kapitel 4.3 lässt sich die Umsetzung des Minimierungsgebots entnehmen. Im Zu- und Umbeseilungsabschnitt von Pkt. Marxheim bis hin zur UA Kriftel konnten durch das Optimieren der Leiteranordnung die elektrischen und magnetischen Felder an den maßgeblichen Minimierungsorten reduziert werden. Im Ersatzneubauabschnitt von Pkt. Zeilsheim Süd bis zur UA FWH Süd 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
Asset Management
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 - *BlmSchG*), in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432).
- [2] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. *BlmSchV*), in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440).
- [3] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. *BlmSchV*), 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 (up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, 1998.
- [7] 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.
- [8] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. *BlmSchV* (26. *BlmSchVVwV*), vom 26. Februar 2016 (BAnz AT 03.03.2016 B5).
- [9] DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011.
- [10] P. Bauhofer, Handbuch für Hochspannungsleitungen: niederfrequente elektromagnetische Felder und deren wirksame Reduktion, Wien: Verband d. Elektrizitätswerke Österreichs, 1994.
- [11] D. Oeding und B. R. Oswald, Elektrische Kraftwerke und Netze, 7. Hrsg., Heidelberg: Springer, 2013.
- [12] Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH, Benutzerhandbuch WinField (R) - Magnetic and Electric Field Calculation, Berlin, 2019.
- [13] 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 50413:2009, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [14] Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland., Ausgabe Juli 2018.
<https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>.
- [15] 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.
- [16] DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 1: Allgemeine Anforderungen - gemeinsame Festlegung, Berlin: VDE Verlag GmbH.

[17] *DIN EN 50341-2-4 (VDE 0210-2-4): Freileitungen über AC 1 kV; Teil 2-4: Nationale Normative Festsetzungen (NNA) für Deutschland*, Berlin: VDE Verlag GmbH.

[18] *DIN EN 50341-2 (VDE 0210-2): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 2: Index der NNA (Nationale Normative Festsetzung)*, Berlin: VDE Verlag GmbH.

A.2 Abbildungen

Abbildung 1:	Darstellung des Trassenverlaufs (schematisch)	3
Abbildung 2:	Mastgrundformen v.l.n.r.: Einebene (a), Tonne (b), Donau (c)	9
Abbildung 3:	Optimierte Leiteranordnung der Bl. 4238	26

A.3 Tabellen

Tabelle 1:	Grenzwerte für 16,7-Hz- und 50-Hz-Anlagen	6
Tabelle 2:	Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetz eingesetzten Spannungsebenen.	8
Tabelle 3:	Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_b der im Bestand vorkommenden und im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter.	9
Tabelle 4:	Maßgebliche Immissionsorte im Bereich der Bl. 4128.	15
Tabelle 5:	Maßgebliche Immissionsorte im Bereich der Bl. 4238.	15
Tabelle 6:	Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4128.	17
Tabelle 7:	Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4238.	18
Tabelle 8:	Feldimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten.	19
Tabelle 9:	Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (Bestand mit vier 380-kV-Stromkreisen) und der geplanten optimierten Leiteranordnung.	24

A.4 Abkürzungen

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

Abs.	Absatz
AL/ST	Seilbezeichnung: Aluminium-Stahl-Seil
AL/ACS	Seilbezeichnung: Aluminium-Stalum-Seil
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BlmSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BlmSchV	Eine Verordnung zur Durchführung des BlmSchG
Bl.	Bauleitnummer
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm

Abkürzung Bedeutung

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), gerade gesetzt. 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_b	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)
$W(f)$	Immissionswert bei der Frequenz f

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