

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



Planfeststellungsvermerk der Planfeststellungsbehörde

Nach § 43b EnWG i.V.m. § 74 VwVfG planfestgestellt durch Beschluss vom 20...

Planfeststellungsbehörde



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



Immissionsschutzbericht

**Netzverstärkung Bürstadt - Kühmoos
Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze Rheinland-
Pfalz/Baden-Württemberg**

**Änderung und Betrieb
der 220-/380-kV Höchstspannungsfreileitung
Maximiliansau - Daxlanden, Bl. 4568**

Stand:	16.12.2019
Inhalt:	30 Seiten



Amprion GmbH
A-PS/ Genehmigungen Leitungen Süd

Immissionsschutzbericht

Nr. B 0004

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

Netzverstärkung Bürstadt – Kühmoos

- Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze
Rheinland-Pfalz /Baden-Württemberg

Änderung und Betrieb der
220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung
Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568

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

Ausgestellt am: 16.12.2019

Unsere Zeichen A-PI/San DIS 700465260
Dokument Anlage 10.1
Dieses Dokument besteht
aus 30 Seiten.

Datum 16.12.2019

Seite 1 von 30

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

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

Aufsichtsratsvorsitzender:
Heinz-Werner Ufer

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einführender Teil	4
1.1	Physikalische Grundlagen.....	6
1.1.1	Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen	6
1.1.2	Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen	6
1.2	Gesetzliche Anforderungen an Niederfrequenzanlagen	7
1.2.1	26. BImSchV	7
1.2.2	26. BImSchVVwV.....	8
2	Ausgangssituation	9
2.1	Technische Parameter	10
2.2	Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt) ..	11
2.3	Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt)	12
3	Ermittlung	13
3.1	Methodik.....	13
3.2	Maßgebliche Immissionsorte.....	14
3.2.1	Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)	14
3.2.2	Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt).....	15
3.3	Maßgebliche Minimierungsorte	15
3.3.1	Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)	15
3.3.2	Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt).....	16
4	Ergebnisse	17
4.1	Grenzwerteinhaltung	17
4.2	Überspannungsverbot und Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden.....	17
4.3	Minimierungsgebot.....	18
4.3.1	Vorprüfung	18
4.3.2	Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen	18
4.3.3	Maßnahmenbewertung	20
5	Angaben zur Qualität.....	25
6	Fazit.....	25
A	Verzeichnisse	27
A.1	Fachliteratur, Gesetze und Normen	27
A.2	Abbildungen	28

Immissionsschutzbericht 0004

Netzverstärkung Bürstadt – Kühmoos

Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg

220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568

Seite 3 von 30

A.3	Tabellen.....	28
A.4	Abkürzungen	28
A.5	Formelzeichen.....	29

1 Einführender Teil

Die Amprion GmbH plant zur Erfüllung ihrer gesetzlichen Verpflichtung, eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten, das Stromübertragungsnetz in Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg bedarfsgerecht auszubauen [1].

Gegenstand des vorliegenden Planfeststellungsantrages ist die Änderung der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden (Bauleitnummer [Bl.] 4568) für den Abschnitt in Rheinland-Pfalz, der detaillierte Antragsgegenstand ergibt sich aus Kap. 3.2. der Anlage 1 als Antragsgegenstände aufgeführt.

Das hiermit beantragte Leitungsbauvorhaben ist der ca. 4 km lange Abschnitt von der UA Maximiliansau bis zur Landesgrenze zu Baden-Württemberg. (s. Abb. 1). Die Leitung verläuft in Baden-Württemberg weiter bis zur UA Daxlanden in Karlsruhe.



Abbildung 1: Darstellung des Trassenverlaufs der Bestandsleitung (schematisch)

Bei der beantragten Leitungsmaßnahme handelt es sich um eine Änderung der bestehenden 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden (Bl. 4568) in Rheinland-Pfalz. Im Zuge dieser Änderung soll eine Spannungsumstellung erfolgen, sodass der auf dem Leitungsgestänge mitgeführte 220-kV-Stromkreis zukünftig mit einer Spannung von 380 kV betrieben werden soll.

Seite 5 von 30

Weiterhin ist aufgrund des geplanten Umbaus der UA Maximiliansau eine neue Einführung der Bl. 4568 in die Anlage notwendig. Aus diesem Grund müssen insgesamt zwei Masten neugebaut werden.

Das Vorhaben umfasst somit 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 Berech-

nungsverfahren, 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

Seite 7 von 30

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 sechszwanzigsten 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 hier behandelte 50-Hz-Anlagen zusammengefasst.

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

Tabelle 1: Grenzwerte für 50-Hz-Anlagen

Seite 8 von 30

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.

Seite 9 von 30

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 10.2 Blatt 1 und 2 ist der Trassenverlauf des gesamten Vorhabens kartografisch dargestellt (M 1:5.000). Die Katasterpläne basieren auf den Geobasisdaten der LVermGeo Rheinland-Pfalz. Dargestellt sind die beiden Leitungsabschnitte des gegenständlichen Vorhabens sowie alle zu berücksichtigenden sich in Parallelage befindenden Freileitungen. Das Vorhaben lässt sich in zwei technische Abschnitte untergliedern: In den Neubau der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung in die UA Maximiliansau der Bauleitnummer (Bl.) 4568, um die 380-kV-Anbindung der Umspannanlage zu realisieren, und in die Spannungsumstellung von 220 kV auf 380 kV eines Stromkreises vom Pkt. Hagenbach bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg.

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 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

Tabelle 3: Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_D der im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter.

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

Seite 11 von 30

Die zum Einsatz kommenden Maste setzen sich aus zwei Grundformen zusammen – Einebene und 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.

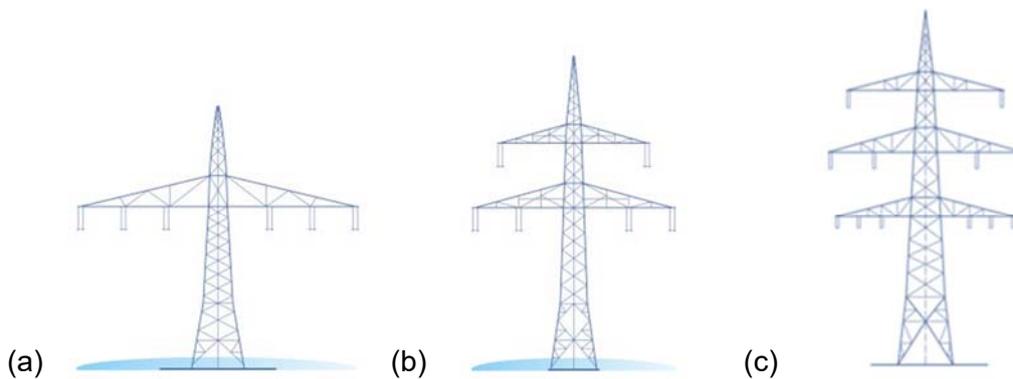


Abbildung 2: Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Donau, (c) Donau-Einebene

2.2 Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)

Der Neubau der geplanten 380-kV-Freileitungseinführung der Bl. 4568, welche von der UA Maximiliansau über den geplanten Mast Nr. 1002 zum geplanten Mast Nr. 1003 (Pkt. Hagenbach) stellt die Verbindung der neuen 380-kV-Umspannanlage mit der Bestandstrasse her. Hierbei werden zwei 380-kV-Stromkreise auf den Gestängen geführt. Die geplanten Masten sind sogenannte Donau Masttypen die zukünftig mit folgender Belegung betrieben werden sollen.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	380	GHK	4	AL/ACS 265/35
	2	380	IJL	4	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 241/40

Seite 12 von 30

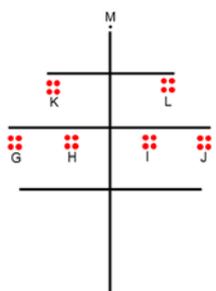
Zu beachten hierbei ist, dass es sich aufgrund der Leitungseinführung und Anlagenumbaumaßnahmen um Sondermasten handelt die Zusatztraversen besitzen.

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

2.3 Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt)

Beginnend am Pkt. Hagenbach (Mast Nr. 1003) ist eine Spannungsumstellung eines bestehenden 220-kV-Stromkreises auf 380 kV bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg geplant.

Zusammen mit dem bereits vorhandenen 380-kV-Stromkreis verläuft dieser umgestellte Stromkreis auf dem bestehenden Mastgestänge der Bl. 4568. Es handelt sich hierbei um sogenannte BD Masttypen, die zukünftig in diesem Abschnitt von Mast 1003 bis zur Landesgrenze und weiter zur UA Daxlanden in Baden-Württemberg mit folgender Belegung betrieben werden sollen.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
	1	380	GHK	4	AL/ST 265/35
	2	380	IJL	4	AL/ST 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/AW 204/42

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 geplanten Ersatzneubauten Bl. 4225 und 4531 sowie die abgehenden Abzweige von 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_b nach Tabelle 3 verwendet. Die Stromstärken über 4 kA beim Viererbündel AL/ACS 550/70 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.

Seite 14 von 30

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 Geschoßboden zur sicheren Seite abgeschätzt. Die Bewertung erfolgt in diesen Fällen in einer Höhe von mindestens 1 m über Geschoßboden. Innerhalb von geschlossenen Räumen wird 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 Immissionsorte

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.

3.2.1 Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)

Der gesamte Verlauf der geplanten 380-kV-Freileitung von der UA Maximiliansau bis zum Pkt. Hagenbach 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 sind in diesem technischen Abschnitt keine maßgeblichen Immissionsorte vorhanden, dies ist auch der Anlage 10.2 Blatt 1 zu entnehmen.

3.2.2 Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt)

Der gesamte Verlauf der Spannungsumstellung vom Pkt. Hagenbach (Mast Nr. 1003) bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg wurde auf maßgebliche Immissionsorte abgesehen. 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 sind in diesem technischen Abschnitt keine maßgeblichen Immissionsorte vorhanden, dies ist auch der Anlage 10.2 Blatt 1 und 2 zu entnehmen.

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 Ersatzneubau 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.

3.3.1 Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)

Der gesamte Verlauf der geplanten 380-kV-Freileitung von der UA Maximiliansau bis zum Pkt. Hagenbach 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 10.2 Blatt 1 kartografisch dargestellt sind.

Lau- fende Num- mer	Minimierungsort	Spannfeld	EMF Über- sichts- karte
1	Wörth am Rhein Gewerbebetrieb mit Wohnhaus	M1002/Bl.4568 zu P006/Bl.4568	Anlage 10.2 Blatt 1
	Wörth am Rhein Wohnhaus	M1002/Bl.4568 zu P006/Bl.4568	Anlage 10.2 Blatt 1
2	Wörth am Rhein Hoffläche mit Wohnhaus	M1002/Bl.4568 zu P004/Bl.4568	Anlage 10.2 Blatt 1

Tabelle 4: Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4568, 1. Technischer Abschnitt

3.3.2 Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt)

Der gesamte Verlauf der Spannungsumstellung vom Pkt. Hagenbach (Mast Nr. 1003) bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg wurde nach maßgeblichen Minimierungsorten überprüft. Dabei wurden sowohl Luftbilder als auch gemäß rechtskräftigem Bebauungsplan für die Wohnnutzung vorgesehene Grundstücke ausgewertet sowie eine Trassenbefahrung durchgeführt. Es konnten in diesem technischen 2. Abschnitt keine maßgeblichen Minimierungsorte ermittelt werden. Dies ist auch in Anlage 10.2 Blatt 1 und 2 aus den EMF-Übersichtskarten zu entnehmen.

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

Die Überprüfung hat ergeben, dass keine maßgeblichen Immissionsorte im Bereich des Vorhabens existieren (siehe auch Kapitel 3.2), somit werden die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV (vgl. Tabelle 1) eingehalten.

Es sind daher auch keine Nachweise für Niederfrequenzanlagen gemäß LAI-Hinweisen für maßgebliche Immissionsorte mit der voraussichtlich stärksten Exposition notwendig.

Die Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen ortsfester Hochfrequenzanlagen ist hier aus oben erläuterten Gründen nicht erforderlich. Laut EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur (<https://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/>, abgerufen am 14.11.2019) befindet sich im Umkreis von mindestens 24 km Entfernung zum geplanten Vorhaben keine Funkanlagenstandorte mit einer Frequenz kleiner-gleich 10 MHz. Der entsprechende Auszug aus der EMF-Datenbank ist in Anlage 10.3 beigelegt. 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 der Spannungsumstellung der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568 im Abschnitt Rheinland-Pfalz 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. Die Anforderungen der 26. BImSchV sind somit auch hier erfüllt. Dies lässt sich auch aus der kartografischen Darstellung in Anlage 10.2 Blatt 1 und 2 entnehmen.

Seite 18 von 30

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 in allen Abschnitten 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 für den 1. Technischen Abschnitt des Neubaus der geplanten 380-kV-Leitung (Bl. 4568) zur Einführung der 380-kV-Stromkreise in die UA Maximiliansau Minimierungsorte ergeben (siehe Tabelle). Im 2. Technischen Abschnitt der Spannungsumstellung vom Pkt. Hagenbach bis zur Landesgrenze der Bl. 4568 sind hingegen keine Minimierungsorte vorhanden.

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

Seite 19 von 30

Der Bewertungsabstand beträgt für 380-kV-Freileitungen 20 m, für 220-kV-Freileitungen 15 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 Einwirkungsbereich gemäß LAI-Hinweisen (vgl. Kapitel 3.2). Das bedeutet, dass in diesem Vorhaben keine maßgeblichen Minimierungsorte vorliegen für die eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich ist. 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). In besonderen Lagen, wie bspw. am Anfang oder Ende der zu betrachtenden Anlage und damit einhergehender besonderer Lage der Minimierungsorte, kann eine abweichende Platzierung des Bezugspunkts sinnvoll sein.

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 Masthöhen
- 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 Abschnitt der Spannungsumstellung auf der Bl. 4568 vom Pkt. Hagenbach bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg soll auf dem bestehenden Gestänge ein zusätzlicher 380-kV-Stromkreis durch die Umstellung eines vorhandenen 220-kV-Stromkreises hergestellt 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.

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 Maßnahmenbewertung

Die Maßnahmenbewertung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen identifizierten Minimierungsmaßnahmen getrennt für den Neubau der 380-kV-Einführung von der UA Maximiliansau bis zum Pkt. Hagenbach und die Spannungsumstellung von dort bis zur Landesgrenze. 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 Gesamtmission 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 *Neubau UA Maximiliansau – Pkt. Hagenbach, Bl. 4568 (1. Technischer Abschnitt)*

Für die Einführung in die UA Maximiliansau bis zum Pkt. Hagenbach, 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 4) bewertet. Es wurden als Minimierungsmaßnahmen die Abstandsoptimierung, 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 Neubaus war es die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV von 5 kV/m und 100 μ T (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.

Es sind zwei 380-kV-Stromkreise auf den Masten der Bl. 4568 zu tragen. Beim Optimieren der Mastkopfgeometrie fiel die Wahl daher auf einen D Masttyp mit einer Donauanordnung (vgl. Kapitel 2.3).

Seite 21 von 30

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-Einebene ist daher vorzugswürdig. Aufgrund der Entfernung der drei Minimierungsorte zur Trasse und Ihrer Lage im Bereich der eigentlichen Einführung der zwei Stromkreise auf die Anlagenportale ist eine Verwendung dieses Masttyps daher unverhältnismäßig.

Optimieren der Leiteranordnung

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.

Durch den Neubau der Masten 1002 und 1003, sowie der Anlagenportale kann für den neuen 380-kV-Stromkreis direkt eine optimierte Leiteranordnung gewählt werden, die die Erfordernisse der elektrischen Symmetrie zum bestehenden Stromkreis 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. Es wurde hier unter Berücksichtigung der Phasenordnung des vorhandenen Stromkreises 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 aufgrund der großen Entfernung für alle maßgeblichen Minimierungsorte wirksam und auch im Nahbereich unter der Leitung noch reduziert.

Ein Vergleich der nicht optimierten Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) zeigt die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder. Eine Vergleichsberechnung ist für den Bereich direkt unter der Trasse im folgenden Kapitel durchgeführt worden. Dort sind die Maximalwerte der berechneten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten für die bestehende Bl. 4568 aufgeführt.

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.

Abstandsoptimierung

Die Wirksamkeit der Abstandsoptimierung ist in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab. Grundsätzliches Ziel dieser Maßnahme ist es, die Verringerung der Felder durch Erhöhung des Abstands zwischen den Leiterseilen und dem Erdboden zu minimieren. Praktisch ist dies zu erreichen, indem Maste erhöht oder Spannfelder durch zusätzliche Maste verkürzt werden. Dabei ist die minimale Leiterseilhöhe bei Vorliegen maßgeblicher Immissionssorte im Einwirkungsbereich nach 26. BImSchV durch die Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte und im Übrigen durch minimal zulässige technisch bedingte Schutzabstände (z.B. gem. DIN EN 50341) [16;17;18] bestimmt.

Eine Erhöhung der Maste geht im Allgemeinen mit einer Erhöhung der Beeinträchtigung des Wohnumfeldes im Nahbereich einher. Diese Beeinträchtigung nimmt gewöhnlich mit Annäherung an die Leitungssachse zu, während gleichzeitig die relative Reduktion der Immissionswerte ebenfalls mit Annäherung an die Leitungssachse zunimmt. Eine Erhöhung der Maste geht ebenso mit einer Erhöhung der Beeinträchtigung des Schutzgutes Landschaftsbild einher. Weiterhin wirkt sich die Höhe der Leiterseile über dem Boden in insoweit empfindlichen Bereichen auf das Anflugrisiko für Vögel aus. Es handelt sich bei den aufgeführten Belangen daher um potentiell konkurrierende Effekte.

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

Seite 23 von 30

Im hier behandelten technischen Abschnitt ist wegen der Mastkonstruktionen der Einführungen in die Umspannanlage eine weitere Erhöhung der Maste nicht sinnvoll. Durch die geplante Ausführung der Masten mit Zusatztraversen ergibt sich ein höherer Bodenabstand der 380-kV-Systeme, welcher eine Reduktion der elektrischen Feldstärke bewirkt.

Mindestens die Beeinträchtigung des Schutzguts Landschaftsbild stellt im Gegensatz zur Nützlichkeit der hier diskutierten Feldreduktion einen eindeutigen nachweisbaren Effekt dar. Es kommt zu (zusätzlichen) Eingriffen in Boden und Eigentum.

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.

Das Anbringen eines zusätzlichen geerdeten Schirmseils noch unterhalb 380-kV-Stromkreise wird verzichtet, da diese nur im Nahbereich der Trasse Wirkung zeigt und für die Minimierungsorte keine Verbesserung darstellen würde.

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 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.

Zusammenfassend bedeutet das für die Minimierung, dass durch Anwendung der beschriebenen Maßnahmen auf gesamter Strecke von der UA Maximiliansau bis zum Pkt. Hagenbach eine Reduzierung der elektrischen und magnetischen Felder erreicht werden konnte. Damit umfasst die Optimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte (Lfd. Nrn. 1 - 2) und wurde wirksam umgesetzt.

4.3.3.2 Spannungsumstellung Pkt. Hagenbach – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg, Bl. 4568 (2. Technischer Abschnitt)

Im 2. Technischen Abschnitt sind wie oben erläutert keine Minimierungsmaßnahmen durchzuführen. Dennoch wurden hier Minimierungsmaßnahmen umgesetzt.

Das in diesem Abschnitt genutzte Bestandsmastgestänge lässt wenige Minimierungsmöglichkeiten zu. Der bestehende BD-Masttyp kann auf der unteren Traverse zwei 220-kV-Systeme führen, hierdurch ergibt sich ein höherer Bodenabstand der 380-kV-Systeme der eine Reduktion der elektrischen Feldstärke bewirkt.

Die im ersten technischen Abschnitt angewendete Optimierung der Leiteranordnung wird auch in diesem Abschnitt fortgeführt und umgesetzt.

Ein Vergleich der nicht optimierten Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) zeigt die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder. Die Ergebnisse der Vergleichsberechnung sind für den Bereich direkt unter der Trasse im Spannungsfeld Mast Nr. 5 bis Mast Nr. 6 durchgeführt worden. In der Tabelle 5 sind die Maximalwerte der berechneten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten für die bestehende Bl. 4568 aufgeführt.

	Leiteranordnung	Bl. 4568, Spannungsfeldmitte Mast 5 – Mast 6
Ungünstigste Phasenlage		Elektrische Feldstärke 4,0 kV/m Magnetische Flussdichte 22 µT
Optimierte Phasenlage		Elektrische Feldstärke 2,8 kV/m Magnetische Flussdichte 20 µT

Tabelle 5: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (Ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung im 1. und 2. Technischen Abschnitt.

Das Optimieren der Leiteranordnung führt zu einer Reduzierung von 4,0 kV/m auf mindestens 2,8 kV/m und von 22 µT auf 20 µT. Dies entspricht einer maximalen Grenzwertausschöpfung von

56% für das elektrische Feld und 20% für das magnetische Feld. Die Minimierungsmaßnahme wurde auf gesamter Strecke von der UA Maximiliansau bis zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg bei allen Spannfeldern angewendet.

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 10.4.

6 Fazit

Die Amprion GmbH plant die Spannungsumstellung eines 220-kV-Stromkreises auf 380-kV als Änderung der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden (Bauleitnummer [Bl.] 4568) für den Abschnitt in Rheinland-Pfalz. Dies dient der Erfüllung ihrer gesetzlichen Verpflichtung, eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten, und das Stromübertragungsnetz in Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg bedarfsgerecht auszubauen.

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 beispielhaft für das Spannfeld Mast Nr. 5 – Mast Nr. 6 der Bl. 4568 prognostizierten Werte für die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte betragen 2,8 kV/m und 20 μT (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Sie liegen damit deutlich unterhalb der Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV von 5 kV/m und 100 μT .

Diese Werte (2,8 kV/m und 20 μT) gelten für den Bereich direkt unter bzw. im Bewertungsabstand der Leitung. 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. In beiden technischen Abschnitten von der Umspannanlage Maximiliansau bis hin zur Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg 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.

Immissionsschutzbericht 0004

Netzverstärkung Bürstadt – Kühmoos

Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg

220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568

Seite 26 von 30

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 - BImSchG)*, 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. BImSchV)*, 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. 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 (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. BImSchV (26. BImSchVVwV)*, 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 der Bestandsleitung (schematisch) 4

Abbildung 2: Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Donau, (c) Donau-Einebene 11

A.3 Tabellen

Tabelle 1: Grenzwerte für 50-Hz-Anlagen 7

Tabelle 2: Spannungsbereiche der in den deutschen Verteil- und Übertragungsnetz eingesetzten Spannungsebenen 10

Tabelle 3: Thermisch maximal zulässiger Dauerstrom I_D der im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter 10

Tabelle 4: Maßgebliche Minimierungsorte im Bereich der Bl. 4568, 1. Technischer Abschnitt 16

Tabelle 5: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (Ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung im 1. und 2. Technischen Abschnitt 24

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
-----	---------------

Immissionsschutzbericht 0004

Netzverstärkung Bürstadt – Kühmoos

Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg

220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568

Seite 29 von 30

Abkürzung Bedeutung

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), 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

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

Immissionsschutzbericht 0004

Netzverstärkung Bürstadt – Kühmoos

Abschnitt: UA Maximiliansau – Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Baden-Württemberg

220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Maximiliansau – Daxlanden, Bl. 4568

Seite 30 von 30

Zeichen	Bedeutung
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