

Prognose elektrischer / magnetischer Feldimmissionen und deren Minimie- rung



Nr. B0079

im geplanten Vorhaben

380-kV-Netzverstärkung Bürstadt-BASF
(Vorhaben Nr. 67 BBPlG)

Inhaltsverzeichnis

1	Einführender Teil	3
1.1	Rechtsgrundlage	5
1.2	Fachkunde der verantwortlichen Mitarbeitenden	5
1.3	Physikalische Grundlagen	6
1.3.1	Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen	6
1.3.2	Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen	6
1.4	Anforderungen der 26. BImSchV an Niederfrequenzanlagen	7
1.4.1	Schutzkonzept.....	7
1.4.2	Vorsorgekonzept.....	8
1.5	Methodik	10
1.6	Definition maßgeblicher Immissionsorte	11
1.7	Definition maßgeblicher Minimierungsorte.....	12
2	Anlagenbeschreibung.....	14
2.1	Verwendete Masttypen und Belegung.....	18
2.1.1	Stromkreisbelegung der Bl. 4642 und Bl. 4542	18
2.1.2	Stromkreisbelegung der parallel verlaufenden Freileitungen	21
2.2	Ortsfeste Hochfrequenzanlagen in Vorhabensnähe	22
3	Ermittlung von maßgeblichen Immissions- und Minimierungsorten	24
3.1	Maßgebliche Immissionssorte	24
3.2	Maßgebliche Minimierungsorte	24
4	Ergebnisse	25
4.1	Grenzwerteinhaltung	25
4.2	Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden	26
4.3	Überspannungsverbot.....	26
4.4	Minimierungsgebot.....	27
4.4.1	Vorprüfung	27
4.4.2	Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen	27
4.4.3	Maßnahmenbewertung	27
5	Angaben zur Qualität.....	36
6	Fazit	37
A	Verzeichnisse.....	38
A.1	Fachliteratur, Gesetze und Normen.....	38
A.2	Abbildungen	39
A.3	Tabellen	39
A.4	Abkürzungen.....	40
A.5	Formelzeichen.....	41
A.6	Konventionen Schemazeichnungen der Mastbilder	41
B	Herstellerzertifikat FGEU – Winfield / EFC-400	42

1 Einführender Teil

Die Amprion plant die Transportkapazität in der Metropolregion Rhein-Neckar zu erhöhen. Hierzu soll eine neue 380-kV-Freileitung von der Umspannanlage Bürstadt (Stadt Lampertheim) zur Umspannanlage BASF (Stadt Ludwigshafen am Rhein) errichtet werden. Außerdem soll eine bestehende Freileitung zwischen dem Punkt Roxheim und der Umspannanlage BASF so geändert werden, dass sich ihre Übertragungskapazität erhöht.

Im Netzentwicklungsplan Strom 2035 (NEP 2021) trägt das Vorhaben die Bezeichnung P159 und wird als Maßnahme 62 mit der Bezeichnung „Bürstadt – BASF“ beschrieben. Das Projekt wurde 2021 in das BBPlG übernommen. Dort wird es als Vorhaben Nr. 67 geführt. Die Maßnahme 62 des NEP 2035 beinhaltet:

- a) Ersatzneubau der bestehenden 220-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF W210, Bl. 2328 von der Umspannanlage Bürstadt bis zur Umspannanlage BASF durch eine 220-kV-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung:
 - Errichtung und Betrieb einer neuen 380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4642 mit zwei 380-kV-Stromkreisen (4er Bündel) von der Umspannanlage Bürstadt bis zum Mast 22 neben der Bestandstrasse der Bl. 4542 – ca. 7 km
 - Errichtung und Betrieb einer neuen 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4642 mit zwei 380-kV-Stromkreisen (4er Bündel) und zwei 220-kV-Stromkreisen (2er Bündel) vom Mast 22 bis zur Umspannanlage BASF in teilweise neuer Trasse ca. 5,5 km
 - Anpassung der Leitungsanbindungen (Bl. 4532) am Punkt Roxheim
- b) Änderung der bestehenden 220-kV-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF W210, Bl. 4542 von Mast 21A (Pkt. Roxheim) bis zur Umspannanlage BASF – ca. 5,5 km
 - Ersatz eines bestehenden 220-kV-Seilsystems (2er Bündel) durch ein leistungsstärkeres 380-kV-Seilsystem (4er Bündel) mit Hochtemperaturleiterseilen (HTLS)
 - Erhöhung der Betriebsspannung auf diesen Stromkreisen von 220 kV auf 380 kV
 - Ersatz eines bestehenden 220-kV-Seilsystems (2er Bündel) durch einen Ankerstromkreis (2er-Bündel, ohne netztechnischen Betrieb)
- c) Änderung der Phasenlage der bestehenden 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung (Bl. 4542) von der Umspannanlage Bürstadt bis zur Pkt. Roxheim.
 - Prüfung zweier Ausführungsvarianten zwischen der UA Bürstadt und dem Punkt Roxheim:
 - Leiterseilausführung des derzeitigen Bestands

- Ersatz zweier bestehender 380-kV-Leiterseilsysteme durch ein leistungsstärkeres Seilsystem mit Hochtemperaturleiterseilen (HTLS; bereits in einem früheren Verfahren genehmigt, jedoch derzeit noch nicht umgesetzt).

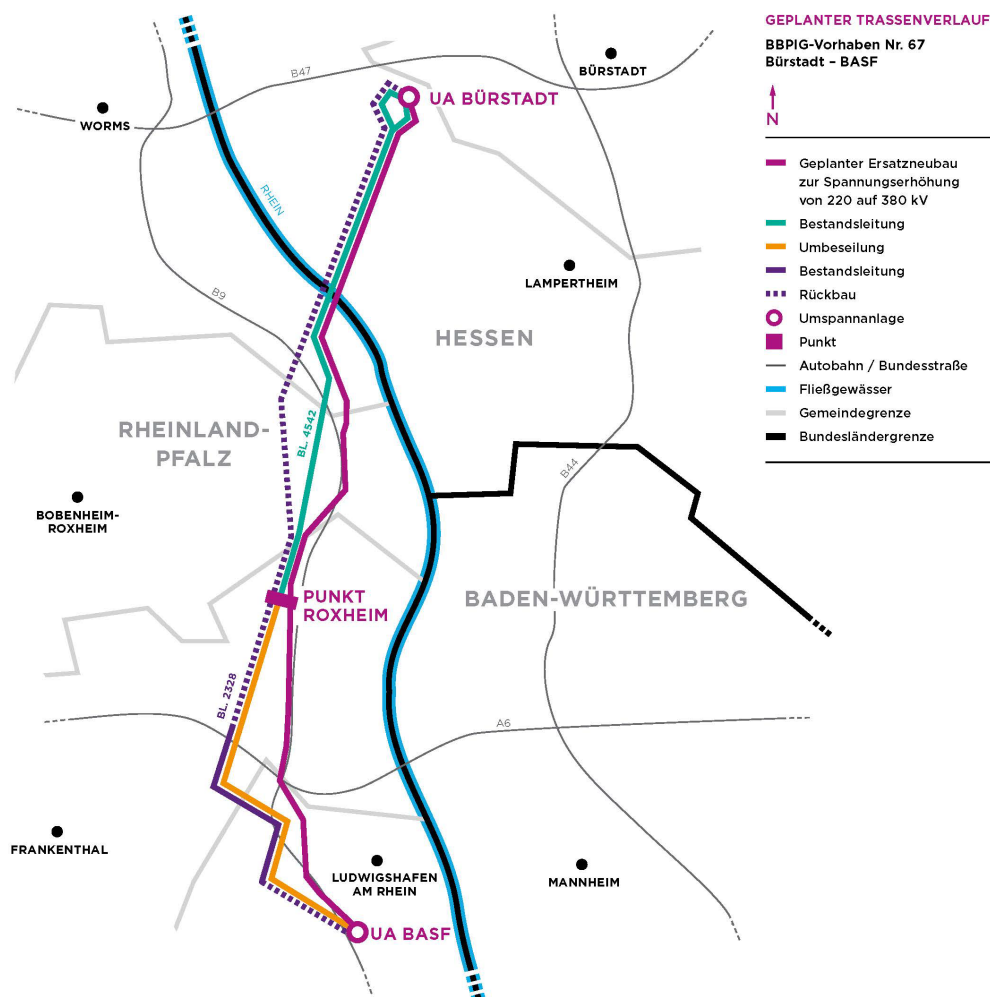


Abbildung 1: Leitungsverlauf Bürstadt – BASF (Ludwigshafen am Rhein) (Auszug aus Register 1 der Antragsunterlagen).

Eine detaillierte Beschreibung und Darstellung des Vorhabens ist dem Erläuterungsbericht (Register 1) sowie dem Übersichtsplan (Register 2) zu entnehmen.

Das Vorhaben umfasst Änderungen an Hochspannungsfreileitungen mit einer Netzfrequenz von 50 Hertz und einer Nennspannung größer 1 kV. Hochspannungsfreileitungen sind gem. § 4 Abs. 1 BImSchG i. V. m. der 4. BImSchV [1] nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen [2, 3]. Dennoch sind insbesondere die Betreiberpflichten nach § 22 BImSchG zu beachten. Hochspannungsfreileitungen stellen Niederfrequenzanlagen gem. § 1 Abs. 2 der 26. BImSchV dar [1]. 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 [1] untersucht.

1.1 Rechtsgrundlage

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 24. Februar 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 58)
- *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)* in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)
- *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV)* vom 26. Februar 2016 (BANZ AT 03.03.2016 B5)
- *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder* mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut
- *FNN-Hinweis: Minimierung elektrischer und magnetischer Felder*, 2. Ausgabe Februar 2017, Forum Netztechnik / Netzbetrieb im VDE, Berlin
- *WinField – Electric and Magnetic Field Calculation*, Version 2023 (Build 3226) der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie – FGEU mbH, Berlin
- *DIN EN 50413 (VDE 0848-1:2020-10) Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2019*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- *Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland*. Ausgabe Juli 2022. <https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>

1.2 Fachkunde der verantwortlichen Mitarbeitenden

Die für diesen Immissionsbericht verantwortlichen Mitarbeitenden 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 Ampriion GmbH vor.

1.3 Physikalische Grundlagen

Beim Betrieb von Höchstspannungsfreileitungen treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf. Sie entstehen in unmittelbarer Nähe von spannungs- bzw. stromführenden Leitern. Die Feldstärken lassen sich messen und berechnen. Die theoretische Grundlage ist 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 und die jeweilige Grenzwertausschöpfung zu ermitteln. Die Summe der Grenzwertausschöpfungen aller Frequenzen f im Bereich zwischen 1 Hertz (Hz) und 10 MHz darf sowohl für die elektrische Feldstärke als auch die magnetische Flussdichte 100 % nicht übersteigen. Im Fall von Drehstromleitungen wechseln die elektrischen und magnetischen Felder ihre Polarität mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz). Im Fall von Bahnstromfernleitungen beträgt diese Frequenz 16,7 Hz.

1.3.1 Das elektrische Feld von Hochspannungsfreileitungen

Ursache niederfrequenter elektrischer Felder sind spannungsführende Leiter in elektrischen Betriebsmitteln 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. Daher sind in Spannfeldmitte die Feldstärken am Erdboden am größten. Entsprechend sind in der Nähe von Masten die Feldstärken am geringsten. Noch ausgeprägter sinkt die Feldstärke mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Freileitung.

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

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

1.3.2 Das magnetische Feld von Hochspannungsfreileitungen

Magnetische Felder treten nur dann auf, wenn elektrischer Strom fließt. Der Betriebsstrom, der durch die Leiterseile fließt, ist im Gegensatz zur Spannung nicht konstant. Er schwankt je

nach Verbrauch, d. h. Last tageszeiten-, jahreszeiten- und witterungsabhängig. 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. Übliche Baustoffe schirmen niederfrequente magnetische Felder typischerweise nicht ab.

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

1.4 Anforderungen der 26. BImSchV an Niederfrequenzanlagen

Die Festlegung von Grenzwerten zum Schutz der Bevölkerung obliegt dem Gesetzgeber. Die Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische und magnetische Felder sind in der sechszehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) verbindlich festgelegt [1]. Die 26. BImSchV [1] ist seit dem 16. Dezember 1996, im deutschen Recht verankert und für Hochspannungsfreileitungen verbindlich anzuwenden. Die Vorgaben beruhen auf Empfehlungen eines von der Weltgesundheitsorganisation anerkannten wissenschaftlichen Gremiums, der Internationalen Kommission für den Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung (ICNIRP), und spiegeln den aktuellen Stand der Forschung bezüglich möglicher Wirkungen durch Felder auf den Menschen wider [6, 7].

1.4.1 Schutzkonzept

1.4.1.1 Grenzwerte

Nach § 3 Abs. 2 S. 1 der 26. BImSchV [1] sind Niederfrequenzanlagen 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 [1] genannten Grenzwerte nicht überschreiten. Hierbei gilt es zu beachten, dass für den Fall $f = 50 \text{ Hz}$ die Hälfte des in Anhang 1a der 26. BImSchV [1] genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschritten werden darf. Die sich daraus ergebenden Grenzwerte sind hier in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Frequenzabhängige Grenzwerte von Anlagen gemäß 26. BImSchV, Anhang 1 [1]

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

Die Immissionswerte $W(f)$ der elektrischen und magnetischen Feldkomponenten aller Niederfrequenz- und ortfesten Hochfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 1 Hz bis 10 MHz sind nach Frequenzkomponenten getrennt zu bestimmen und mit dem jeweiligen Grenzwert $G(f)$

zu gewichten. Ihre, nach Anhang 2a der 26. BImSchV [1], gewichteten Summen müssen getrennt für das elektrische und das magnetische Feld folgende Bedingung erfüllen:

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

Entsprechend der §§ 3 und 4 der 26. BImSchV [1] dürfen für Neuanlagen bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in ihrem Bereich an Orten, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind, die vorgenannten Grenzwerte nicht überschritten werden. Für bestimmte Altanlagen gelten spezifische Sonderregelungen für kurzzeitige und kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte.

1.4.1.2 Vermeidung von Belästigung oder Schäden

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. 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.

1.4.2 Vorsorgekonzept

1.4.2.1 Minimierung

Nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV [1] sind 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 und unter Berücksichtigung von Gegebenheiten zu minimieren. Die Minimierung wird durch eine ergänzende Verwaltungsvorschrift, die 26. BImSchVVwV [8], konkretisiert.

Das Ziel des Minimierungsgebots nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV [1] 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 (vgl. Kapitel 1.7) 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 (vgl. Kapitel 1.7), 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 [8] 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. Wenn eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an einem maßgeblichen Minimierungsort führen würde, dann kann sie nicht in Betracht kommen.

Bei der Auswahl der Minimierungsmaßnahmen ist insbesondere der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren. Hierbei sind Aufwand und Nutzen der möglichen Maßnahmen zu betrachten, zudem sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter zu berücksichtigen. Wird beispielsweise 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 irrelevant, 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 [8].

Die Prüfung des Minimierungspotentials hat bei Drehstromfreileitungen auf Basis der in Nr. 5.3.1 der 26. BImSchVVwV [8] 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 Masterrhöhungen
- 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

Die Prüfung des Minimierungspotentials hat bei Drehstromerkabeln auf Basis der in Nr. 5.3.2 der 26. BImSchVVwV [8] aufgeführten technischen Möglichkeiten zu erfolgen und gliedert sich in folgende Maßnahmen.

- Minimieren der Kabelabstände (Nr. 5.3.2.1) innerhalb aber auch zwischen Stromkreisen
- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.2.2) durch Veränderung der Phasenfolge
- Optimieren der Verlegegeometrie (Nr. 5.3.2.3) z. B. durch die Anordnung in einer Ebene oder einem Dreieck
- Optimieren der Verlegetiefe (Nr. 5.3.2.4)

1.4.2.2 Überspannung

Nach § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV [1] dürfen Niederfrequenzanlagen zur Fortleitung von Elektrizität mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Nennspannung von ≥ 220 kV, die in einer neuen Trasse errichtet werden, Gebäude oder Gebäudeteile nicht überspannen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.

1.5 Methodik

Elektrische und magnetische Felder lassen sich mit den Gleichungen der klassischen Elektrodynamik sicher berechnen [5, 9, 10]. Gemäß § 5 der 26. BImSchV [1] 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 wie folgt durchgeführt.

Grundlage der Berechnung sind die jeweils aufgeführten Datenblätter. Dazu wird die gesamte Trasse bzw. der gesamte Einwirkungsbereich nach den Hinweisen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [11] (vgl. Kap. 1.6) betrachtet und maßgebliche Immissionsorte (vgl. Kap. 1.6) identifiziert und ausgewiesen. Desweiteren werden der Bewertungsabstand und Einwirkungsbereich nach der 26. BImSchVVwV [8] (vgl. Kap. 1.7) ebenfalls ausgewertet und ausgewiesen.

Das Vorhaben wird inklusive etwaiger paralleler oder kreuzender Energieübertragungsleitungen, digital nachgebildet und in die Software *WinField* [12] (auch als EFC-400 bezeichnet) der FGEU mbH übertragen. Keine Berücksichtigung finden dabei Gebäude und Bewuchs, die auf Grund ihrer Leitfähigkeit das elektrische Feld verzerren, aber den Vorgaben der Betrachtung der freien Ausbreitung der Felder entgegenstehen.

Die Software berechnet die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte jeweils in quasistationärer Näherung für beliebige Koordinaten. Zur Berechnung der elektrischen Feldstärke implementiert die Software die Methode der Spiegelladung [5, 9, 10, 12], für die Berechnung der magnetischen Flussdichte wird das Ampèresche Gesetz ausgewertet [5, 12].

Die verwendeten Methoden entsprechen den in der DIN EN 50413 spezifizierten Anforderungen für Berechnungen [13].

Nach der 26. BImSchV [1] sind die elektrischen und magnetischen Felder bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung zu bestimmen. Für die Berechnung wird daher stets die höchste Betriebsspannung $U_{b,max}$ nach Tabelle 7 angesetzt. Der thermisch maximale Betriebsstrom I_b wird nach Tabelle 6 entsprechend der Bündelleiterzahl verwendet. In den Berechnungen werden die elektrischen und magnetischen Felder für die vorhandenen Betriebsfrequenzen ermittelt.

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

Wenn ausschließlich Niederfrequenzanlagen mit einer Betriebsfrequenz zu betrachten sind, ist eine Summation über Frequenzkomponenten nicht erforderlich. Es erfolgt daher ein direkter Vergleich mit den jeweils geltenden Grenzwerten.

Wenn jedoch Niederfrequenzanlagen mit unterschiedlichen Betriebsfrequenz zu betrachten sind, ist eine Summation über die auftretenden Frequenzkomponenten erforderlich. Neben einem direkten Vergleich der einzelnen Frequenzkomponenten mit den jeweils geltenden Grenzwerten der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte, erfolgt ebenso eine Prüfung der Einhaltung der Anforderung aus Anhang 2a der 26. BImSchV [1] hinsichtlich der summierten Grenzwertausschöpfung im zu berücksichtigenden Frequenzbereich (vgl. Kap. 1.4.1.1)

Nach Nr. 3.2.2.3 der 26. BImSchVVwV [8] 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. 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 so weit angewendet, wie sie mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand und Nutzen umgesetzt werden kann.

1.6 Definition maßgeblicher Immissionsorte

Nach der 26. BImSchV [1] sind die elektrischen und magnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt

von Menschen bestimmt sind, zu ermitteln. Eine Definition des Einwirkungsbereichs von Niederfrequenzanlagen und der maßgeblichen Immissionsorte liefern die LAI-Hinweise [11]:

Nach Ziffer II.3.1 der LAI-Hinweise [11] gilt als Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage der Bereich, in dem diese Anlage einen signifikant von der Hintergrundbelastung abhebenden Immissionsbeitrag verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Als maßgebliche Immissionsorte gelten die Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind und die innerhalb der in Ziffer II.3.1 definierten Abstände liegen.

Nach Ziffer II.3.2 der LAI-Hinweise [11] 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 [11] 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 gemäß LAI-Hinweisen [11] ist bei Hochspannungsfreileitungen abhängig von der Anlagenart und ihrer Nennspannung und bemisst sich als ein an den ruhenden äußeren Leiter angrenzender Streifen. Für Erdkabel ist der Bereich unabhängig von der Spannungsebene radial um das Kabel festgelegt. Die Bereiche sind in Tabelle 2 definiert:

Tabelle 2: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Einwirkungsbereichs nach LAI [11] für Niederfrequenzanlagen

	Freileitung			Erdkabel
Nennspannung der Anlage	110 kV	220 kV	380 kV	unabhängig von der Nennspannung
Breite des Einwirkungsbereichs nach LAI [11]	10 m	15m	20 m	1 m

Für die innerhalb dieser Bereiche liegenden maßgebenden Immissionsorte sind die elektrischen Felder und die magnetische Flussdichte bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung im geplanten Endzustand und unter Berücksichtigung anderer vorhandener Niederfrequenzanlagen zu ermitteln.

1.7 Definition maßgeblicher Minimierungsorte

Gemäß Nr. 2.11 der 26. BImSchVVwV [8] sind maßgebliche Minimierungsorte Orte, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, insb. Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnlichen Einrichtungen, und die sich im Einwirkungsbereich der Anlage gemäß 26. BImSchVVwV [8] befinden.

Die 26. BImSchVVwV [8] trifft hierzu Festlegungen über konservative Pauschalwerte für verschiedene Anlagentypen. Für Hochspannungsfreileitungen ist der Ausgangspunkt für die

Breite des Einwirkungsbereichs die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters, für Erdkabel hingegen ist der Ausgangspunkt für die Breite die Bodenprojektion des äußeren Kabels. Die Breite des Einwirkungsbereichs gemäß 26. BImSchVVwV [8] ist bei Niederfrequenz abhängig von der Anlagenart und ihrer Nennspannung und wird in Tabelle 3 gezeigt:

Tabelle 3: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Einwirkungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8] für Niederfrequenzanlagen

Nennspannung der Anlage	≥ 110 kV bis < 220 kV (110 kV)		≥ 220 kV bis < 380 kV (220 kV)		≥ 380 kV (380 kV)	
Art der Anlage	Freileitung	Erdkabel	Freileitung	Erdkabel	Freileitung	Erdkabel
Breite des Einwirkungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8]	200 m	35 m	300 m	75 m	400 m	100 m

Zusätzlich definiert die 26. BImSchVVwV [8] einen Bewertungsabstand. An maßgeblichen Minimierungsorten innerhalb dieses Bewertungsabstandes ist eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich, maßgebliche Minimierungsorte außerhalb des Bewertungsbereichs mittels eines Bezugspunktes berücksichtigt werden. 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 werden im Bewertungsabstand in Spannfeldmitte gesetzt, da in der Regel in Spannfeldmitte die größten Feldstärken am Boden auftreten (vgl. Kapitel 1.3).

Die 26. BImSchVVwV [8] trifft hierzu Festlegungen über konservative Pauschalwerte für verschiedene Anlagentypen. Für Hochspannungsfreileitungen ist der Ausgangspunkt für die Breite des Bewertungsbereichs die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters, für Erdkabel hingegen ist der Ausgangspunkt für die Breite die Bodenprojektion des äußeren Kabels. Die Breite des Bewertungsbereichs gemäß 26. BImSchVVwV [8] ist bei Niederfrequenzanlagen abhängig von der Anlagenart und ihrer Nennspannung, wie in Tabelle 4 gezeigt:

Tabelle 4: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Bewertungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8] für Niederfrequenzanlagen

Nennspannung der Anlage	110 kV		220 kV		380 kV	
Art der Anlage	Freileitung	Erdkabel	Freileitung	Erdkabel	Freileitung	Erdkabel
Breite des Bewertungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8]	10 m	1 m	15 m	5 m	20 m	10 m

2 Anlagenbeschreibung

Grundlage für die Ermittlung und Bewertung der elektrischen und magnetischen Felder an den Immissions- und Minimierungsorten ist der Verlauf der Trasse sowie die technischen und elektrischen Konfigurationen der Hochspannungsleitungen. In Register 6.1 bis 6.5 ist der Trassenverlauf des gesamten Vorhabens kartografisch dargestellt (M 1:5.000). Die Katasterpläne basieren auf den Geobasisdaten der Kreise Bergstraße, Worms, Bobenheim-Roxheim, Frankenthal (Pfalz) und Stadt Ludwigshafen am Rhein. Dargestellt sind die verschiedenen Leitungsabschnitte des gegenständlichen Vorhabens sowie alle zu berücksichtigenden sich in Parallellage befindenden Freileitungen.

Tabelle 5 Tabelle der technischen Abschnitte und Erläuterung der Gliederung

Technischer Abschnitt	Beginn	Ende
1	Portale der UA Bürstadt	Bl. 4642 / Mast 12
	Portale der UA Bürstadt	Bl. 4542 / Mast 12
	und	
	Bl. 4642 / Mast 20	Bl. 4642 / Mast 22
	Bl. 4542 / Mast 19	Bl. 4542 / Mast 21A
	In diesem Abschnitt verlaufen von der UA Bürstadt die beiden Leitung des Verfahrens (Bl. 4642, Bl. 4542) parallel nebeneinander. Weitere parallele Hoch- oder Höchstspannungsleitungen sind nicht vorhanden. Diese Konstellation mit denselben technischen Randbedingungen ist zusätzlich an einem weiteren Abschnitt entlang der Strecke zwischen Bürstadt und BASF anzutreffen. Diese beiden Abschnitte werden daher zu einem technischen Abschnitt zusammengefasst.	
2	Bl. 4642 / Mast 12	Bl. 4642 / Mast 20
	Bl. 4542 / Mast 12	Bl. 4542 / Mast 19
	In diesem Abschnitt verlaufen die beiden Leitung des Verfahrens (Bl. 4642, Bl. 4542) parallel nebeneinander, wobei die beiden Leitungen deutlich weiter auseinander liegen als im technischen Abschnitt 1 und daher in einem separaten technischen Abschnitt betrachtet werden.	
3	Leitungs-dreieck: Bl. 4542 / Mast 21A, Mast 1022; Bl. 4532 / M 153	
	Dieser technische Abschnitt betrifft den Pkt. Roxheim an dem ein 380-kV-Stromkreis der Bl. 4542 auf die Bl. 4532 geführt wird. Zusätzlich werden zwei 220-kV-Stromkreise von der Bl. 4532 auf die Bl. 4542 geführt. Weiter besteht dort ein Dreieck eines 380-kV-Stromkreises.	
4	Bl. 4542 / Mast 21A	Bl. 4542 / Mast 26
	In diesem technischen Abschnitt verläuft die Bl.4542 allein.	
5	Bl. 4642 / Mast 22	Bl. 4642 / Mast 30
	und	
	Bl. 4642 / Mast 32	Bl. 4642 / Mast 34
	In diesem technischen Abschnitt verläuft die Bl.4642 allein. Diese Konstellation mit denselben technischen Randbedingungen ist zusätzlich an einem weiteren Abschnitt entlang der Strecke zwischen Bürstadt und BASF anzutreffen. Diese	

	beiden Abschnitte werden daher zu einem technischen Abschnitt zusammengefasst.	
6	Bl. 4542 / Mast 26 und Bl. 4542 / Mast 32	Bl. 4542 / Mast 30 Bl. 4542 / Mast 35
	In diesem technischen Abschnitt verläuft eine 110-kV-Hochspannungsleitung mit zwei Systemen parallel zur Bl.4542. Diese Konstellation mit denselben technischen Randbedingungen ist zusätzlich an einem weiteren Abschnitt entlang der Strecke zwischen Bürstadt und BASF anzutreffen. Diese beiden Abschnitte werden daher zu einem technischen Abschnitt zusammengefasst. Im Mastbereich Mast 34A – Mast 35 der Bl. 4542 tragen die beiden 110-kV-Stromkreise die 110-kV-Hochspannungsfreileitung Mundenheim – Frankenthal der Pfalzwerke, Bl. XXII (Mast 50 – Mast 1632). Im Mastbereich Mast 26 – Mast 30 und Mast 32 – Mast 34A der Bl. 4542 tragen die beiden 110-kV-Stromkreise die 220-kV Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF W210, Bl. 2328 (Mast 1042 – Mast 46 und Mast 48 – Mast 50).	
7	Bl. 4642 / Mast 30 Bl. 4542 / Mast 30 und Bl. 4642 / Mast 34 Bl. 4542 / Mast 35	Bl. 4642 / Mast 32 Bl. 4542 / Mast 32 Portalen der UA BASF Portalen der UA BASF
	In diesem technischen Abschnitt nähern sich die Bl. 4642 und die Bl. 4542 zueinander an und laufen parallel. Zusätzlich verläuft eine 110-kV-Hochspannungsleitung mit zwei Systemen parallel. Diese Konstellation mit denselben technischen Randbedingungen ist zusätzlich an einem weiteren Abschnitt entlang der Strecke zwischen Bürstadt und BASF anzutreffen. Diese beiden Abschnitte werden daher zu einem technischen Abschnitt zusammengefasst. Im Mastbereich Mast 30 - Mast 32 der Bl. 4542 und Mast 30 – Mast 32 der Bl. 4642 tragen die beiden 110-kV-Stromkreise die 220-kV Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF W210, Bl. 2328 (Mast 46 - Mast 48). Im Mastbereich Mast 34 bis zu den Portalen der UA BASF der Bl. 4642 und Mast 35 bis zu den Portalen der UA BASF der Bl. 4542 tragen die beiden 110-kV-Stromkreise die 110-kV-Hochspannungsfreileitung Mundenheim – Frankenthal der Pfalzwerke, Bl. XXII (Mast 1632 – Mast 1629).	

Es ist geplant, die Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen Bl. 4642 und Bl. 4542 mit den Folgenden wesentlichen Anlagenkenngrößen zu errichten (Bl. 4642), zu ändern (Bl. 4542) und zu betreiben:

Die anzunehmende maximale Stromstärke wird durch den thermischen Grenzstrom, d.h. maximal zulässigen Dauerstrom I_D , des jeweiligen Seiltyps als materialbezogene Angabe bestimmt.

Auf einigen Stromkreisen kommt es zu einem witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb, dies bedeutet, dass bei gewissen Witterungskonstellationen ein höherer Strom als der thermische Grenzstrom übertragen werden kann. Die Stromkreise werden dann entsprechend ihrem maximal möglichen Strom im witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb in der Prognose berücksichtigt. Für Seiltypen mit thermischen Grenzströmen größer 4 kA gilt, dass nach den gültigen Planungsgrundsätzen der vier Übertragungsnetzbetreiber Ströme über 4 kA in der Praxis nicht

zugelassen sind. Der maximale Betriebsstrom beträgt aufgrund dessen 3,6 kA (in Ausnahmefällen 4 kA). Die Stromkreise werden prognostisch dennoch mit den thermischen Grenzströmen erfasst, auch wenn diese in der Realität nicht auftreten können, sodass die prognostisch auftretenden Felder in diesem Fall größer sind als die real auftretenden. Die Prognose über die Einhaltung der Anforderungen der 26. BImSchV [1], unter Berücksichtigung bestehender Freileitungen, erfolgt somit zur sicheren Seite liegend. Tabelle 6 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.

Tabelle 6: Thermisch maximal zulässiger Betriebsstrom I_D der im Bestand vorkommenden und im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter.

Bezeichnung	Einfachseil	Zweierbündel	Dreierbündel	Viererbündel
AL/ACS 550/70	1,087 kA	2,174 kA	3,261 kA	4,348 kA
AL/ST 265/35	0,680 kA	1,360 kA	2,040 kA	2,720 kA
AL/ST 265/35	1,000 kA ¹	2,000 kA ¹	3,000 kA ¹	4,000 kA ¹
TAL/ACI 265/35	1,048 kA	2,096 kA	3,144 kA	4,192 kA
TAL/ACI 260/40	1,034 kA	2,068 kA	3,102 kA	4,136 kA
AL/ACS 120/20	0,500 kA ¹	1,000 kA ¹	1,500 kA ¹	2,000 kA ¹
AL/ACS 265/35	1,000 kA ¹	2,000 kA ¹	3,000 kA ¹	4,000 kA ¹
AL/ST 240/40	1,000 kA ¹	2,000 kA ¹	3,000 kA ¹	4,000 kA ¹
AL/ST 185/30	0,535 kA	1,070 kA	1,605 kA	2,140 kA
AL/ST 310/100	0,740 kA	1,480 kA	2,220 kA	2,960 kA

Zudem wird zur sicheren Seite liegend angenommen, dass an allen Systemen die in der jeweiligen Spannungsebene entsprechend der Norm DIN EN 50160 [14] maximal zulässige Betriebsspannung $U_{B,max}$ nach Tabelle 7 anliegt.

Tabelle 7: Spannungsbereiche der deutschen Verteil- und Übertragungsnetz

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

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. Die Auswahl erfolgt in Abhängigkeit von planerischen, umweltfachlichen und feldreduzierenden Aspekten. Betriebliche Gründe können die Auswahl jedoch einschränken.

¹ Maximaler Strom des witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb.

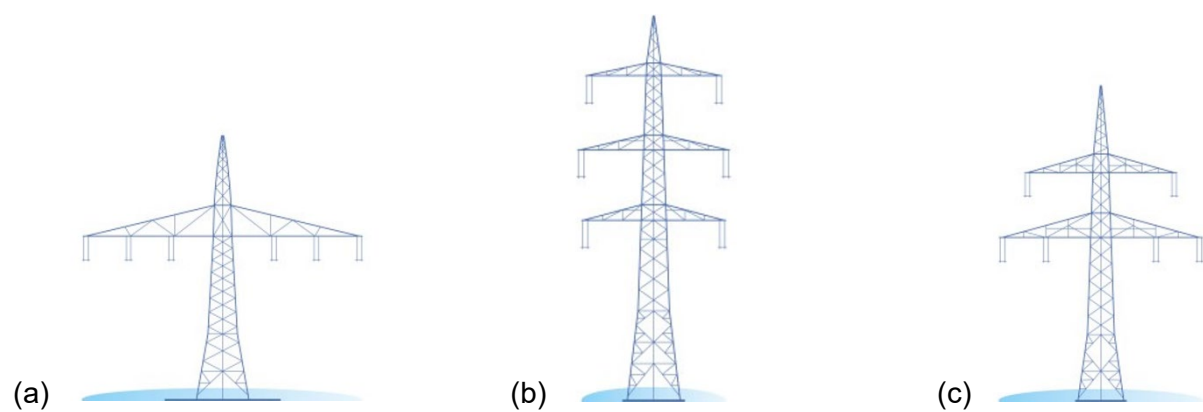


Abbildung 2: Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Tonne, (c) Donau

2.1 Verwendete Masttypen und Belegung

Die zukünftige Stromkreisbelegung der Bl. 4642 und Bl. 4542 wird in Abschnitt 2.2.1 beschrieben. Die Stromkreisbelegung der parallel verlaufenden Freileitungen wird in Abschnitt 2.2.2 dargestellt.

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

2.1.1 Stromkreisbelegung der Bl. 4642 und Bl. 4542

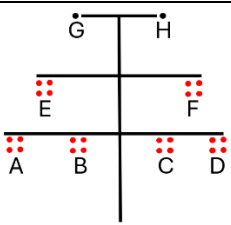
Der Neubau der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4642, soll zwischen der Umspannanlage (UA) Bürstadt und Pkt. Roxheim zwei 380-kV-Stromkreise tragen. Ab Pkt. Roxheim bis zur Umspannanlage BASF kommen noch zwei 220-kV-Stromkreise zusätzlich auf die Bl. 4642.

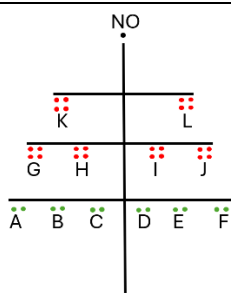
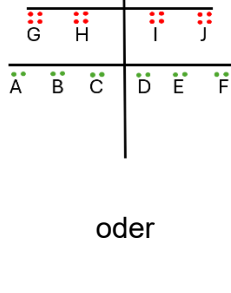
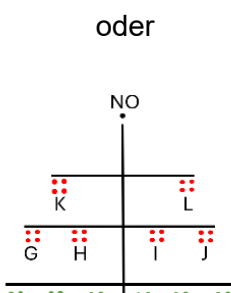
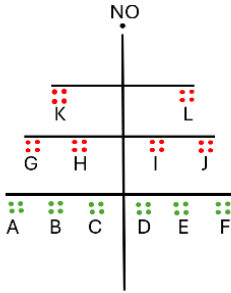
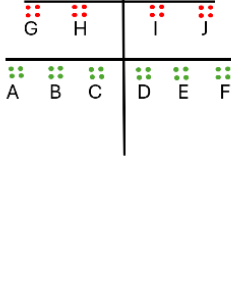
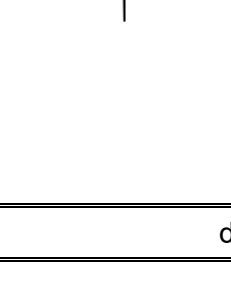
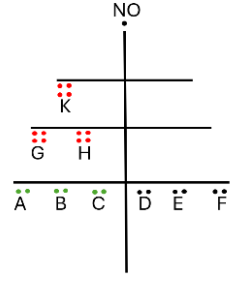
Auf der 220-kV-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4542, befinden sich zwischen der UA Bürstadt und dem Pkt. Roxheim zwei 380-kV-Stromkreise und zwei 220-kV-Stromkreise auf der Leitung. Ab dem Pkt. Roxheim sind weiterhin zwei 220-kV-Stromkreise auf der Leitung, aber nur noch ein 380-kV-Stromkreis und ein Ankerstromkreis.

Am Pkt. Roxheim werden die zwei 220-kV-Stromkreise der Bl. 4542 (von der UA Bürstadt kommend) auf die Bl. 4642 verschwenkt. Ein 380-kV-Stromkreis der Bl. 4542 (von der UA Bürstadt kommend) wird auf die Bl. 4532 verschwenkt. Zwei von der Bl. 4532 kommende 220-kV-Stromkreise werden auf die Bl. 4542 Richtung UA BASF geführt. Zusätzlich wird ein Dreibein eines 380-kV-Stromkreises aufgebaut, der von der UA Bürstadt bis zur UA BASF läuft und zusätzlich auf die Bl. 4532 geführt wird.

Die geplante Stromkreisbelegungen sind in Tabelle 8 dargestellt. In Anlage A.6 findet sich eine Erläuterung der Schemazeichnung der Mastbilder.

Tabelle 8: Geplante Stromkreisbelegung der Bl. 4642 und der Bl. 4542 je technischem Abschnitt.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
erster technischer Abschnitt / zweiter technischer Abschnitt					
Bl. 4642: Portale der UA Bürstadt bis Mast 22					
	1	380	ABE	4	AL/ACS 550/70
	2	380	CDF	4	AL/ACS 550/70
	SLH	–	G	1	AY/ACS 241/40
	Erdseil	–	H	1	AL/ACS 265/35

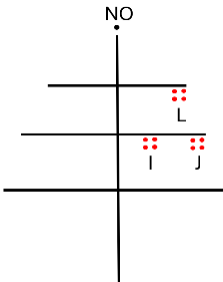
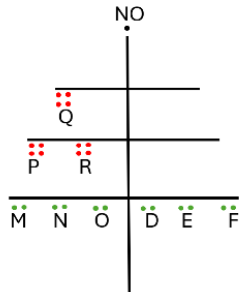
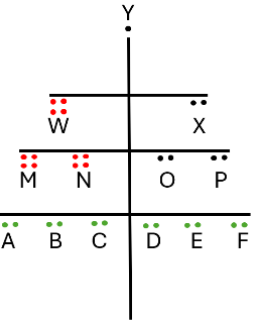
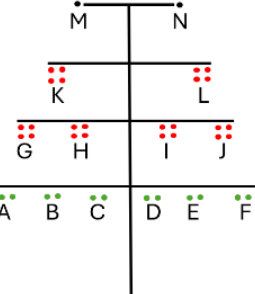
Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
Bl. 4542: Portale der UA Bürstadt bis Mast 21A ²					
	1	380	GHK	4	AL/ST 265/35 ³
				oder	
				4	TAL/ACI 265/35 ⁴
				4	TAL/ACI 260/40 ⁵
	2	380	IJL	4	AL/ST 265/35 ³
				oder	
				4	TAL/ACI 265/35 ⁴
				4	TAL/ACI 260/40 ⁵
	3	220	ABC	2	AL/St 240/40 ³
				oder	
				2	AL/ACS 265/35 ⁴
				4	AL/ACS 120/20 ⁵
	4	220	DEF	2	AL/St 240/40 ³
				oder	
				2	AL/ACS 265/35 ⁴
				4	AL/ACS 120/20 ⁵
	SLH		NO	1	AY/AW 257/42; AY/AW 204/42
dritter technischer Abschnitt (Leitungsdreieck Roxheim)					
Bl. 4542: Mast 21A bis Mast 1022					
	1	380	GHK	4	TAL/ACI 265/35
	2	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	3	ANK	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	NO	1	AY/ACS 241/40

² Zwei Ausführungsvarianten werden betrachtet: 1. Leiterseilausführung des derzeitigen Bestands.
2. Auf den 380-kV-Stromkreisen werden Hochtemperaturleiterseile aufgelegt. Zusätzlich werden geräuschemindernde Leiterseile an einigen Stellen aufgelegt (Variante wurde schon in einem früheren Verfahren genehmigt.).

³ 1. Ausführungsvariante: Leiterseilausführung des derzeitigen Bestands

⁴ 2. Ausführungsvariante: Auf den 380-kV-Stromkreisen werden Hochtemperaturleiterseile aufgelegt.

⁵ 2. Ausführungsvariante: Zwischen Mast 12 und Mast 21A wird dieses geräuschemindernde Leiterseil aufgelegt.

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
Bl. 4542 / Mast 21A bis Bl. 4532 / Mast 153					
	1	380	IJL	4	TAL/ACI 265/35
	Erdseil	–	NO	1	AY/ACS 241/40
Bl. 4542 / Mast 1022 bis Bl. 4532 / Mast 153					
	1	380	QPR	4	TAL/ACI 265/35
	2	220	MNO	2	AL/ACS 265/35
	3	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	NO	1	AY/ACS 241/40
vierter technischer Abschnitt					
Bl. 4542: Mast 1022 bis Mast 26					
	1	380	WMN	4	TAL/ACI 265/35
	2	ANK	XOP	2	AL/ST 265/35
	3	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	4	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	Y	1	AY/ACS 226/49
fünfter technischer Abschnitt					
Bl. 4642: Mast 22 bis Mast 30, Mast 32 bis Mast 34					
	1	380	KGH	4	AL/ACS 550/70
	2	380	LIJ	4	AL/ACS 550/70
	3	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	4	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 241/40
	Erdseil	–	N	1	AY/ACS 265/35

Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
sechster technischer Abschnitt					
Bl. 4542: Mast 26 bis Mast 30, Mast 32 bis Mast 35					
	1	380	WMN	4	TAL/ACI 265/35
	2	ANK	XOP	2	AL/ST 265/35
	3	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	4	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	Y	1	AY/ACS 226/49
siebter technischer Abschnitt					
Bl. 4542: Mast 30 bis Mast 32, Mast 35 bis Portale der UA BAFS					
	1	380	WMN	4	TAL/ACI 265/35
	2	ANK	XOP	2	AL/ST 265/35
	3	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	4	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	Y	1	AY/ACS 226/49
Bl. 4642: Mast 30 bis Mast 32, Mast 34 - Portale der UA BASF					
	1	380	KGH	4	AL/ACS 550/70
	2	380	LIJ	4	AL/ACS 550/70
	3	220	ABC	2	AL/ACS 265/35
	4	220	DEF	2	AL/ACS 265/35
	Erdseil	–	M	1	AY/ACS 241/40
	Erdseil	–	N	1	AY/ACS 265/35

2.1.2 Stromkreisbelegung der parallel verlaufenden Freileitungen

Zwei 110 kV-Stromkreise verlaufen parallel zur Bl. 4642 und Bl. 4542 und sind damit zu berücksichtigen. Diese laufen auf Gestängen mit unterschiedlichem Eigentümer. Zwischen Mast 34A und der UA BASF der Bl. 4542 befindet sich die beiden 110-kV-Stromkreise auf der 110-kV-Hochspannungsfreileitung Mundenheim – Frankenthal der Pfalzwerke, Bl. XXII (Mast 50 – Mast 1629). Diese verläuft von Mast 1632 bis Mast 1629 zusätzlich parallel zur Bl. 4642 (Mast 34 bis zu den Portalen der UA BASF).

Zwischen Mast 26 und Mast 34A der Bl. 4542 verlaufen die beiden 110-kV-Stromkreise auf der 220-kV Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF W210, Bl. 2328 (Mast 1042 – Mast 50). Zwischen Mast 46 und Mast 48 der Bl. 2328 nähert sich zusätzlich die Bl. 4642 (Mast 30 – Mast 32) an dieser Leitung an.

In zwei technischen Abschnitten laufen die beiden 110-kV-Stromkreise parallel. Hierbei verläuft im sechsten technischen Abschnitt nur die Bl. 4542 parallel. Im siebten technischen Abschnitt verlaufen die Bl. 4542 und die Bl. 4642 parallel.

Die geplante Stromkreisbelegungen sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Stromkreisbelegung der Pfalzwerke (PW), Bl. XXII.

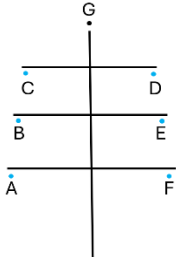
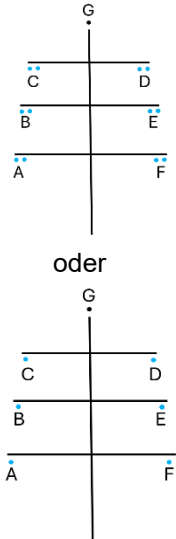
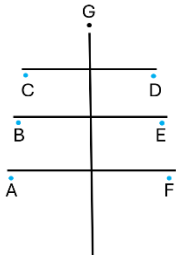
Mastbereich	Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
sechster / siebter technischer Abschnitt						
M 1634 –		1	110	ABC	1	AL/ST 185/30
M 1629		2	110	DEF	1	AL/ST 185/30
		Erdseil	–	G	1	AL/ST 185/30

Tabelle 10: Stromkreisbelegung der Bl. 2328

Mastbereich	Masttyp	System	Nennspannung [kV]	Seile	Bündel	Seiltyp
sechster / siebter technischer Abschnitt						
M 1042 –		1	110	ABC	2	AL/ST 265/35 ⁶
M 1634 (PW)					oder	
					1	AL/ST 310/100 ⁷
		2	110	DEF	2	AL/ST 265/35 ⁶
					oder	
					1	AL/ST 310/100 ⁷
	oder					
		Erdseil	–	G	1	AY/AW 132/315

2.2 Ortsfeste Hochfrequenzanlagen in Vorhabensnähe

Die Berücksichtigung von Immissionsbeiträgen ortsfester Hochfrequenzanlagen ist hier nicht erforderlich. Entsprechend Ziffer II.3.4 der LAI-Hinweise [11] tragen Hochfrequenzanlagen ab einem Abstand von 300 m nicht relevant zur Vorbelastung bei und machen daher eine weitere

⁶ Mastbereich: Mast 44 bis Mast 1634 (PW)

⁷ Mastbereich: Mast 1042 bis Mast 44

Betrachtung entbehrlich. Dieser Regelung liegt die Einschätzung von messtechnischen Fachstellen hinsichtlich der Immissionsbeiträge von Hochfrequenzanlagen im Spektrum von 9 kHz bis 10 MHz zugrunde [11]. Laut EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur (<https://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/>, abgerufen am 08.05.2025) befinden sich im Umkreis von mehr als acht Kilometer Entfernung zum geplanten Vorhaben keine Funkanlagenstandorte mit einer Frequenz kleiner-gleich 10 MHz. Der entsprechenden Auszüge aus der EMF-Datenbank sind in Abbildung 3 beigelegt.

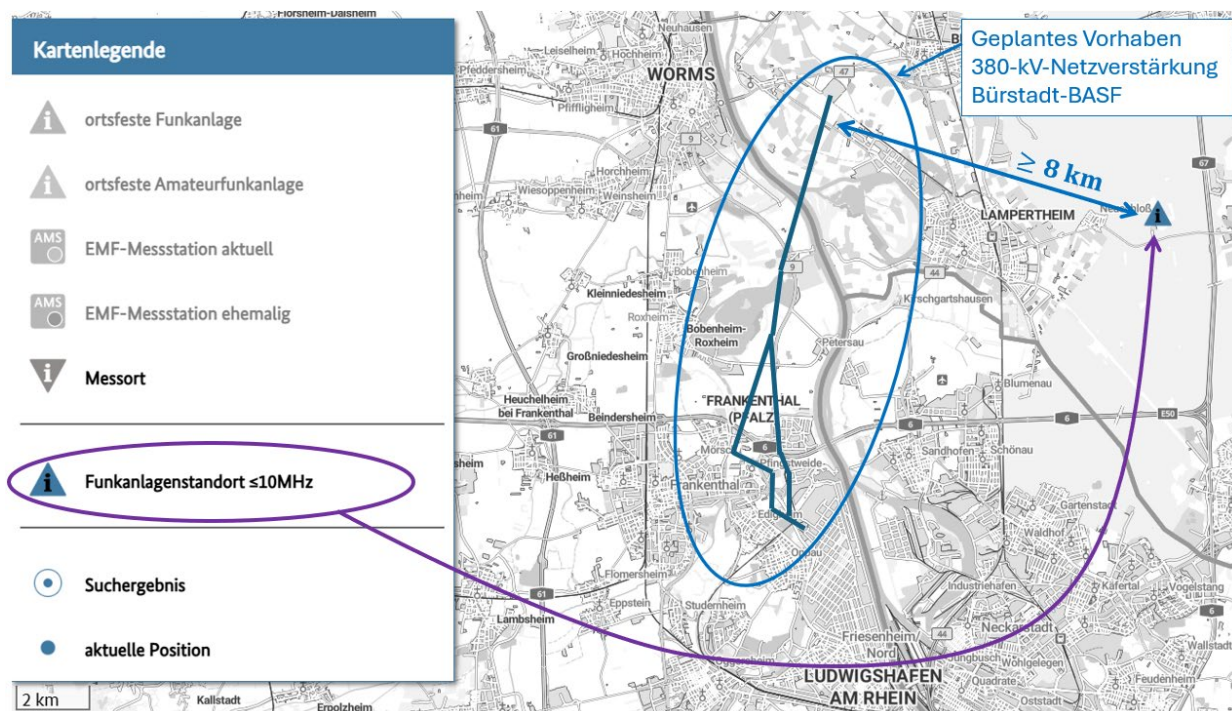


Abbildung 3: Auszug aus der EMF Datenbank.

3 Ermittlung von maßgeblichen Immissions- und Minimierungsorten

3.1 Maßgebliche Immissionssorte

Für die in Kapitel 2 beschriebene Anlage wurden die folgenden maßgeblichen Immissionssorte identifiziert und kartographisch in den Registern 9.3.1 Blatt 1 bis 5, 9.3.2 Blatt 1 bis 5 und 9.3.5 Blatt 1 dargestellt:

Tabelle 11: Maßgebliche Immissionssorte der Anlage je technischem Abschnitt.

Lfd. Nr.	Immissionsort	Nutzungsart	Spannfeld
zweiter technischer Abschnitt			
1	Worms Fl. 31 FIST. 177	Wohnen und Freizeit	4542: 12 – 13; 4642: 13 – 14
2	Worms Fl. 32 FIST. 9/10, 9/14, 9/15	Freizeit	4542: 13 – 14; 4642: 13 – 14
3	Bobenheim FIST. 1246	Wohnen und Gewerbe	4542: 13 – 14; 4642: 13 – 15
sechster technischer Abschnitt			
4	Mörsch FIST. 537	Wohnen und Gewerbe	4542: 27 – 28
5	Mörsch FIST. 539/3, 539/4	Gewerbe	4542: 27 – 29
6	Edigheim FIST. 2349/4	Freizeit	4542: 29 – 30
siebter technischer Abschnitt			
7	Edigheim FIST. 2373/18, 2380/8	Freizeit	4642: 31 – 32; 4542: 31 – 33
8	Edigheim FIST. 2561/1	Freizeit	4642: 32 – 33; 4542: 32 – 33

3.2 Maßgebliche Minimierungsorte

Bei dem geplanten Vorhaben handelt es sich um eine wesentliche Änderung im Sinne der 26. BImSchVVwV [8]. Daher ist das Minimierungsgebot gemäß §4 26. BImSchV einschlägig.

Für die in Kapitel 2 beschriebene Anlage wurden daher maßgeblichen Minimierungsorte identifiziert, die kartographisch in Registern 9.3.1 Blatt 1 bis 5 (4642), 9.3.2 Blatt 1 bis 5 (4542) und 9.3.5 Blatt 1 (Pkt. Roxheim) dargestellt sind.

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. 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.

4.1 Grenzwerteinhaltung

An allen maßgeblichen Immissionsorten des gegenständlichen Vorhabens werden die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV [1] (vgl. Tabelle1) eingehalten. Die Immissionsbeiträge anderer Niederfrequenzanlagen wurden hierbei berücksichtigt. Die ermittelten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten an den Immissionsorten des Vorhabens sind in nachfolgender Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Feldimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten des Vorhabens.

Lfd. Nr. IO	Elektrische Feldstärke		Magnetische Flussdichte		Register
	50 Hz	Grenzwertauslastung	50 Hz	Grenzwertauslastung	
zweiter technischer Abschnitt					
1	1,2 kV/m ⁸	24%	14 µT ⁸	14%	9.2.1
	1,3 kV/m ⁹	26%	17 µT ⁹	17%	
2	0,7 kV/m ⁸	14%	8 µT ⁸	8%	—
	0,8 kV/m ⁹	16%	9 µT ⁹	9%	
3	0,8 kV/m ⁸	16%	10 µT ⁸	10%	—
	0,9 kV/m ⁹	18%	12 µT ⁹	12%	
sechster technischer Abschnitt					
4	1,0 kV/m	20%	10 µT	10%	—
5	1,5 kV/m	30%	17 µT	17%	—
6	3,2 kV/m	64%	37 µT	37%	9.2.2

⁸ Ausführungsvariante: Leiterseilausführung des derzeitigen Bestands

⁹ Ausführungsvariante: Auf den 380-kV-Stromkreisen werden Hochtemperaturleiterseile aufgelegt.

Lfd. Nr. IO	Elektrische Feldstärke		Magnetische Flussdichte		Register
	50 Hz	Grenzwertaus- lastung	50 Hz	Grenzwertaus- lastung	
siebter technischer Abschnitt					
7	2,6 kV/m	52%	29 µT	29 %	9.2.3
8	2,3 kV/m	46%	26 µT	26%	—

Für die maßgeblichen Immissionsorte mit der voraussichtlich stärksten Exposition wurden die Nachweise für Niederfrequenzanlagen gemäß LAI-Hinweisen [11] erstellt. Es ergeben sich dabei drei Nachweise, da die Immissionsorte in drei verschiedenen technischen Abschnitten liegen. Die Nachweise sind in den Registern 9.2.1 bis 9.2.3 zu finden.

Die betrachteten Immissionsorte (Lfd. Nrn. 1, 6, 7) sind damit repräsentativ für ihren jeweiligen technischen Abschnitt, d. h. die Immissionen an allen anderen maßgeblichen Immissionsorten im jeweiligen technischen Abschnitt sind geringer als an dem im Nachweis betrachteten Immissionsort. Alle Nachweise enthalten detaillierte Angaben zur Nachvollziehbarkeit der Berechnungen der elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten an den maßgeblichen Immissionsorten.

Das geplante Vorhaben erfüllt damit die Anforderungen aus § 3 der 26. BImSchV [1] sowohl hinsichtlich der Grenzwertvorgaben als auch der Summenbetrachtung von Immissionsbeiträgen anderer Anlagen.

4.2 Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden

Erhebliche Belästigungen oder Schäden (vgl. Kapitel 1.4.1.2) sind 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).

Das geplante Vorhaben erfüllt damit die Anforderungen aus § 3 Abs. 4 der 26. BImSchV [1] sowohl hinsichtlich der Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden.

4.3 Überspannungsverbot

Das Überspannungsverbot (vgl. Kapitel 4.3) sowie ein möglichst großer Abstand zur Wohnbebauung sind bereits in der Planung und Trassierung wichtige Grundsätze. Dementsprechend sind in diesem Vorhaben zum Neubau der Bl. 4642 keine Gebäudeüberspannungen vorgesehen. Dies lässt sich auch aus der kartografischen Darstellung in Register 9.3.1 Blatt 1 bis 5 (4642), 9.3.2 Blatt 1 bis 5 (4542) und 9.3.5 Blatt 1 (Pkt. Roxheim) entnehmen.

Das geplante Vorhaben erfüllt damit die Anforderungen aus § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV [1] sowohl hinsichtlich des Überspannungsverbots.

4.4 Minimierungsgebot

Das Minimierungsgebot gemäß § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV [1] i. V. m. 26. BImSchVVwV [8] wird beachtet. Die Umsetzung erfolgte entsprechend der Vorgaben – siehe Kapitel 1.4.2.1 – 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 [8].

4.4.1 Vorprüfung

Das Ergebnis der Vorprüfung ist in Kapitel 3.2 dargestellt und hat für das gegenständliche Vorhaben Minimierungsorte ergeben (siehe Tabelle 11 und Register 9.3.1 Blatt 1 bis 5 (4642), 9.3.2 Blatt 1 bis 5 (4542) und 9.3.5 Blatt 1 (Pkt. Roxheim)).

4.4.2 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 Minimierungsprüfung wurde zusätzlich geprüft, ob eine Minimierungsmaßnahme zu einer Erhöhung der Immissionen an maßgeblichen Minimierungsorten führt.

Für die maßgeblichen Minimierungsorte der Bl. 4542 mit der laufenden Nummer 6, 7, 8, 15, 18, 23, 27 und 28 war eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich (vgl. Kapitel 1.7). Für alle anderen maßgeblichen Minimierungsorte aller betrachteten Leitungen erfolgte die Prüfung am Bezugspunkt.

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

In Abschnitt 4.3.3 werden die möglichen Minimierungsoptionen separat für die Bl. 4542, die Bl. 4642 und den Pkt. Roxheim hinsichtlich ihres Minimierungspotentials für die ermittelten maßgeblichen Minimierungsorte bzw. Bezugspunkte (vgl. Tabelle 11 und Register 9.3.1 Blatt 1 bis 5 (Bl. 4642), 9.3.2 Blatt 1 bis 5 (Bl. 4542) und 9.3.5 Blatt 1 (Pkt. Roxheim)) bewertet.

4.4.3 Maßnahmenbewertung

4.4.3.1 Ersatzneubau der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt - BASF, Bl. 4642

Ziel der Planung des Neubaus war es die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV soweit wie möglich zu unterschreiten. Eine generell hohe Wirksamkeit hierbei hat nach 26. BImSchVVwV das Optimieren der Mastkopfgeometrie, gefolgt von der Optimierung der Seilabstände, der Leiteranordnung und der Abstandsoptimierung. Eine eher niedrige Wirkung hat die elektrische Schirmung. Entsprechend dieser Reihenfolge der Wirksamkeiten werden die Minimierungsmaßnahmen im Folgenden diskutiert.

Da es sich bei der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt-BASF Bl. 4642 um einen Ersatzneubau handelt, sind prinzipiell alle Minimierungsmaßnahmen möglich und werden in den nächsten Abschnitten bewertet.

Optimieren der Mastkopfgeometrie

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

Zwischen UA Bürstadt und Pkt. Roxheim sind zwei 380-kV-Stromkreise in Donauanordnung geplant. Ab Pkt. Roxheim bis zur UA BASF befindet sich eine zusätzliche Einebene unter der Donauanordnung, an der zwei 220-kV-Stromkreise verlaufen. In weiten Teilen läuft die Bestandsleitung Bl. 4542 parallel zur Bl. 4642, die auch einen Donau-Ebenen-Mastkopf aufweist. Bei der Bl. 4642 wurde eine Mastgeometrie gewählt, die vergleichbare Masthöhen ermöglicht, wie die parallel verlaufende Bl. 4542. Zudem weist eine über die gesamte Verbindung einheitliche Mastkopfgeometrie betriebliche Vorteile bezüglich der Symmetrierung des Übertragungsnetzes auf.

Als Alternative wäre die Tonnenanordnung anzuführen. Dies würde zu einer geringfügigen Feldreduktion an weiter entfernten Minimierungsorten führen, jedoch eine zusätzliche Traversenebene und damit eine deutliche Erhöhung der Maste erfordern. Eine Erhöhung von Masten hätte zur Folge, dass die neu zu errichtenden Maste deutlich über die bestehenden Maste der parallelverlaufenden Bl. 4542 ragten. Damit gehen zusätzliche Eingriffe in das Schutzgut Landschaftsbild sowie, bedingt durch größere Fundamente, in das Schutzgut Boden einher.

Daher wird eine Leitanordnung des Typs „Donau“ und „Donau-Ebene“ für die 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt-BASF, Bl. 4642, bevorzugt.

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 und 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.

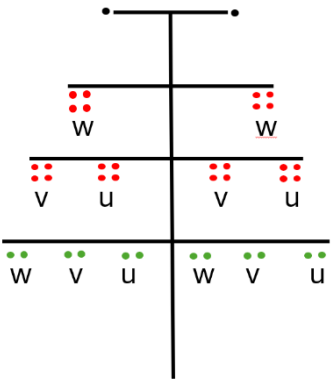
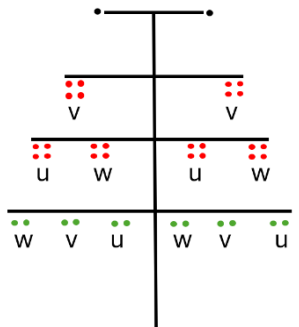
Außerdem beeinflusst die Optimierung der Leiteranordnung, d.h. die Anordnung der Phasenleiter am Masten, die elektrischen Eigenschaften der Leitung im Netz. Aus betrieblicher Sicht können insbesondere elektrische Asymmetrien sowie die Beeinflussung der mitgeführten Systeme die Wahl der Phasenlage einschränken.

Für das magnetische Feld kann eine optimierte Anordnung nur für einen speziellen Betriebsfall hergestellt werden. Das Minimierungspotential ist dabei gemäß Ziff. 4 der 26. BImSchVVwV für die überwiegend zu erwartende Stromrichtungskonstellation zu prüfen.

Ein Vergleich der nicht optimierten Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) zeigt die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder. In Tabelle 13 sind beispielhaft für den maßgeblichen Minimierungsort Nr. 17 die Maximalwerte der berechneten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten für beide Fälle aufgeführt. Dieser Minimierungsort ist gegenüber dem elektrischen und dem magnetischen Feld einer der stärksten exponierten Minimierungsorte der Bl. 4642.

Das Optimieren der Leiteranordnung führt zu einer Reduzierung der elektrischen Feldstärke auf 0,2 kV/m und der magnetischen Flussdichte auf 5 μT . Dies entspricht einer maximalen Grenzwertausschöpfung von 4 % für das elektrische Feld und 5 % für das magnetische Feld. Dadurch wird dieser Minimierungsmaßnahme Rechnung getragen.

Tabelle 13: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) der Bl. 4642.

Art der Phasenlage	Leiteranordnung	Minimierungsort Nr. 17: Edigheim FSt. 2442, 2445/1, 2445/2, 2451, 2452, 2453/1, 2455/1, 2456, 2457, 2458, 2466
Ungünstigste Phasenlage		Elektrische Feldstärke: 0,5 kV/m ¹⁰ Magnetische Flussdichte: 7 μT ¹⁰
Optimierte Phasenlage		Elektrische Feldstärke: 0,2 kV/m ¹⁰ Magnetische Flussdichte: 5 μT ¹⁰

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.

¹⁰ Die Feldwerte betreffen den Einfluss der Bl. 4642 auf den Minimierungsort. Durch die große Entfernung von 300 m beeinflusst die Bl. 4542 nicht die Feldwerte der Bl. 4642.

Durch Minimieren der Seilabstände kann unter Berücksichtigung der optimierten Leiteranordnung eine hohe Feldkompensation erreicht werden, das zu niedrigeren elektrischen Feldstärken und magnetischen Flusssichten am Boden führt. Die Seilabstände können jedoch nicht beliebig verkürzt werden. Es müssen die Mindestisolerluftstrecken 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 [15] und DIN EN 50341-2-4 [16] vorgegeben.

Die Wahl der Aufhängepunkte der Leiterseile untereinander orientiert sich auf der gesamten Neubaustrecke 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 auf Grund von Sicherheitsabständen für Personen, die zur Wartung der 380-kV-Stromkreise den Mast besteigen müssen, größer gewählt als die Mindestisolerluftstrecken. Würden nur die Mindestabstände zwischen den Leiterseilen und dem Mast berücksichtigt, müssten zur Wartung des Stromkreises auf einer Mastseite stets der Stromkreis auf der anderen Mastseite mit abgeschaltet werden. Das gleichzeitige Abschalten beider 380-kV-Stromkreise gefährdet jedoch den Grundsatz der (n-1)-Sicherheit im Netz, weshalb dies keine Option darstellt.

Abstandsoptimierung

Die Wirksamkeit der Abstandsoptimierung ist in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Trasse ab. Grundsätzliches Ziel dieser Maßnahme ist es, den Abstand der Leiterseile zum Erdboden und damit zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Dies kann durch zwei Maßnahmen erreicht werden: zum einen können Spannungsfelder durch zusätzliche Maste verkürzt werden und zum anderen können Maste erhöht werden.

Alle maßgeblichen Minimierungsorte zeichnen sich durch einen vergleichsweise großen seitlichen Abstand zur Trasse aus, sodass diese auf den Bewertungsabstand zu projizieren waren. Dadurch ist die Wirksamkeit dieser Minimierungsmaßnahme eher gering.

Die Minimierungsorte der Bezugspunkte Nr. 3, 16, 17 und 22 haben weniger als 100 m Abstand zur Bl. 4642. Alle anderen Minimierungsorte liegen weiter weg, wodurch der Einfluss des Bodenabstands der Seile für die Immissionen sehr gering ist. Am Minimierungsort mit Bezugspunkt 3 sind zwei 380-kV-Stromkreise auf der Leitung und der Bodenabstand ist 16,4 m. An den drei weiteren Minimierungsorten mit den Bezugspunkten 16, 17 und 22 befinden sich in den Spannungsfeldern auf den unteren Traversen zwei 220-kV-Stromkreise. Hierbei sind die Bodenabstände von 16 m (Bezugspunkte 16 und 17) und 14 m (Bezugspunkt 22). An diesen und an allen weiteren Minimierungsorten überschreiten die Abstände sehr deutlich die notwendigen Mindestseilbodenabstände nach DIN EN 50341-1 [15] und DIN EN 50341-2-4 [16]. Eine weitere Erhöhung um wenige Meter hätte nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Höhe der Immissionen an den Minimierungsorten weit außerhalb des Bewertungsabstandes. Eine Erhöhung der Maste erscheint daher wenig vorzugswürdig.

Zur Reduktion der Eingriffe in das Schutzgut Landschaftsbild wurden die neu zu errichtenden Maste der Bl. 4642 bei parallel verlaufender bestehender Bl. 4542 im Gleichschritt zu dieser geplant. Ein Abweichen vom Gleichschritt würde in einer weit deutlicheren Sichtbarkeit des

Trassenbandes resultieren. Eine Verkürzung der Spannfeldlängen mit einhergehender Vergrößerung des Seilbodenabstands erscheint daher nicht vorzugswürdig.

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 insbesondere der elektrischen Felder am Boden erreicht werden.

In den Abschnitt der Mitführung von 220-kV-Systemen zwischen Pkt. Roxheim und UA BASF wird durch die Wahl der Mastkopfgeometrie mit der Führung der 380-kV-Systemen auf den oberen Traversen des Mastes bereits eine Verringerung der elektrischen Felder am Boden erreicht.

Das Anbringen eines zusätzlichen geerdeten Schirmseils noch unterhalb der 380-kV- bzw. 220-kV-Systeme 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 (Optimierung der Mastkopfgeometrie) erläutert.

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. 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.

4.4.3.2 Umbeseilung der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt-BASF Bl. 4542 zwischen Pkt. Roxheim und UA BASF

Für die Umbeseilung der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4542, wurden als Minimierungsmaßnahmen die Abstandsoptimierung sowie das Optimieren der Leiteranordnung identifiziert und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit angewendet.

Ziel war es die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV [1] von 5 kV/m und 100 μ T so weit wie möglich zu unterschreiten. Im Folgenden werden die einzelnen Minimierungsoptionen geprüft und hinsichtlich ihres Minimierungspotentials bewertet.

Auf der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt-BASF Bl. 4542 wird zwischen UA Bürstadt und Pkt. Roxheim auf bestehendem Gestänge lediglich eine Phasenänderung vorgenommen. Ab Pkt. Roxheim bis zur UA BASF wird ein 220-kV-Stromkreis durch einen 380-kV-

Stromkreis ersetzt und eine Umbeseilung an diesem Stromkreis auf HTLS-Leiterseile vorgenommen.

Das Minimierungsgebot bezieht sich nur auf die geänderten Leitungen und insofern sind in Bezug auf die Beachtung des Minimierungsgebots keine Maßnahmen am Bestand vorzunehmen.

Da keine neuen Masten an der Bl. 4542 in diesem Verfahren gebaut werden, ist die Mastkopfgeometrie und die Seilabstände durch das Bestandsnetz fest vorgegeben. Daher sind die beiden Minimierungsmaßnahmen Optimieren der Mastkopfgeometrie und die Minimierung der Seilabstände in diesem Projekt nicht realisierbar. Die Minimierung durch elektrische Schirmung erfordert das Anbringen zusätzlicher Erdungsseile unterhalb der Leiterseile. Da die Bestandsmaste keine freie Traverse unterhalb der Leiterseile besitzen, ist auch diese Maßnahme zur Minimierung nicht umsetzbar. Eine Optimierung der Leiteranordnung ist zwischen UA Bürstadt und Pkt. Roxheim ausgeschlossen, weil aus technischen Gründen die Phasenlage vorgegeben ist, wobei diese schon in einer optimierten Phasenlage vorliegt. Im weiteren Verlauf zwischen Pkt. Roxheim und UA BASF ist eine Optimierung der Leiteranordnung nicht ausgeschlossen und somit zu prüfen. Eine Abstandsoptimierung per Verringerung der Mastabstände oder Erhöhung der Maste ist grundsätzlich technisch ebenfalls möglich.

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 zum Erdboden und dadurch zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern.

Da im Rahmen dieses Projekts lediglich bestehende Maste und Portale verwendet werden, ist die Masterhöhung als Option zur Vergrößerung des Bodenabstands der Leiterseile nicht verhältnismäßig. Aufgrund dessen wird von einer nachträglichen Erhöhung der Masten abgesehen.

Eine weitere Option wäre das Errichten zusätzlicher Maste zur Verkürzung der Spannfeldlängen, wodurch der Seildurchhang geringer ausfällt und damit der Bodenabstand vergrößert wird. Durch den Neubau eines Masts sind die Schutzgüter Mensch, Landschaft und Boden noch stärker beeinträchtigt als durch eine Masterhöhung. Ebenso ist die finanzielle Belastung durch einen Neubau noch größer als die einer Masterhöhung.

In Abwägung dieser Belange wurde für dieses Projekt von der Errichtung zusätzlicher Maste abgesehen.

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.

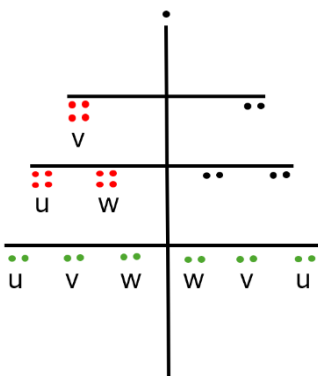
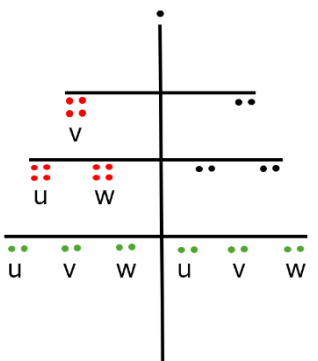
Außerdem beeinflusst die Optimierung der Leiteranordnung, d.h. die Anordnung der Phasenleiter am Masten die elektrischen Eigenschaften der Leitung im Netz. Aus betrieblicher Sicht können insbesondere elektrische Asymmetrien sowie die Beeinflussung der mitgeführten Systeme die Wahl der Phasenlage einschränken.

Für das magnetische Feld kann eine optimierte Anordnung nur für einen speziellen Betriebsfall hergestellt werden. Das Minimierungspotential ist dabei gemäß Ziff. 4 der 26. BImSchVVwV für die überwiegend zu erwartende Stromrichtungskonstellation zu prüfen.

Ein Vergleich der nicht optimierten Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) zeigt die Minimierung des magnetischen Felder. In Tabelle 14 sind beispielhaft für den maßgeblichen Minimierungsort Nr. 23 die Maximalwerte der berechneten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten für beide Fälle aufgeführt. Dieser Minimierungsort ist gegenüber dem elektrischen und dem magnetischen Feld der am stärksten exponierten Minimierungsorte der Bl. 4542. Grundsätzlich sind die Minimierungsoptionen bei der Bl. 4542 eingeschränkt, da eine die Phasenlage einiger Stromkreise aus technischen Gründen vorgeben ist.

Das Optimieren der Leiteranordnung führt zu einer Reduzierung der magnetischen Flussdichte auf $37 \mu\text{T}$ und der elektrischen Feldstärke auf $3,2 \text{ kV/m}$. Dies entspricht einer maximalen Grenzwertausschöpfung von 37 % für das magnetische Feld und 64 % für des elektrischen Feld. Dadurch wird dieser Minimierungsmaßnahme Rechnung getragen.

Tabelle 14: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) der Bl. 4542.

Art der Phasenlage	Leiteranordnung	Minimierungsort Nr. 23: Edigheim FIST. 2349/4
Ungünstigste Phasenlage		Elektrische Feldstärke: 4,1 kV/m Magnetische Flussdichte: 43 µT
Optimierte Phasenlage		Elektrische Feldstärke: 3,2 kV/m Magnetische Flussdichte: 37 µT

4.4.3.3 Stromkreisverschwenkungen am Pkt. Roxheim

Für die Stromkreisverschwenkungen am Pkt. Roxheim wurden als Minimierungsmaßnahmen die Abstandsoptimierung, die Minimierung der Seilabstände sowie das Optimieren der Leiteranordnung identifiziert und im Rahmen der Verhältnismäßigkeit angewendet.

Ziel war es die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV [1] von 5 kV/m und 100 µT so weit wie möglich zu unterschreiten. Im Folgenden werden die einzelnen Minimierungsoptionen geprüft und hinsichtlich ihres Minimierungspotentials bewertet.

Am Pkt. Roxheim werden Stromkreisverschwenkungen ausschließlich auf bestehenden Masten durchgeführt. An Mast 1022 der Bl. 4542 wird dazu eine zusätzliche Traverse montiert. Da Bestandsmasten verwendet werden, ist die Mastkopfgeometrie fest vorgegeben und ist als Minimierungsmaßnahme ausgeschlossen. Die Minimierungsmaßnahme der Seilabstände kann nur bei der zusätzlichen Traverse am Mast 1022 der Bl. 4542 betrachtet werden. Die Minimierung durch elektrische Schirmung erfordert das Anbringen zusätzlicher Erdungsseile unterhalb der Leiterseile. Da die Bestandsmaste keine freie Traverse unterhalb der Leiterseile besitzen, ist auch diese Maßnahme zur Minimierung nicht umsetzbar. Eine Optimierung der Leiteranordnung und eine Abstandsoptimierung per Verringerung der Mastabstände oder Erhöhung der Maste ist grundsätzlich technisch möglich und wird im nächsten Kapittel geprüft.

Abstandsoptimierung

Die Wirksamkeit der Abstandsoptimierung ist in Trassennähe hoch und nimmt mit zunehmendem seitlichem Abstand zur Trasse ab. Grundsätzliches Ziel dieser Maßnahme ist es, den Abstand der Leiterseile zum Erdboden und damit zu maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Dies kann durch zwei Maßnahmen erreicht werden: zum einen können Spannfelder durch zusätzliche Maste verkürzt werden und zum anderen können Maste erhöht werden.

Um den Pkt. Roxheim befinden sich zwei maßgeblichen Minimierungsorte, die einen vergleichsweise großen seitlichen Abstand zur Trasse aufweisen (> 100 m), so dass diese auf den Bewertungsabstand zu projizieren waren. Dadurch ist die Wirksamkeit dieser Minimierungsmaßnahme eher gering.

Dennoch wurde der Bodenabstand der Leiterseile im Rahmen der Minimierung für die maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich größer als der in den Normen vorgegebene minimale Bodenabstand gewählt.

Da im Rahmen dieses Projekts lediglich bestehende Maste verwendet werden, ist die Masterhöhung als Option zur Vergrößerung des Bodenabstands der Leiterseile nicht verhältnismäßig. Aufgrund dessen wird von einer nachträglichen Erhöhung der Masten abgesehen.

Eine weitere Option wäre das Errichten zusätzlicher Maste zur Verkürzung der Spannfeldlängen, wodurch der Seildurchhang geringer ausfällt und damit der Bodenabstand vergrößert wird. Durch den Neubau eines Masts sind die Schutzgüter Mensch, Landschaft und Boden noch stärker beeinträchtigt als durch eine Masterhöhung. Ebenso ist die finanzielle Belastung durch einen Neubau noch größer als die einer Masterhöhung.

In Abwägung dieser Belange wurde für dieses Projekt von der Errichtung zusätzlicher Maste abgesehen.

Optimieren der Leiteranordnung

Das Optimieren der Leiteranordnung stellt eine Maßnahme zur Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder mit hoher Wirksamkeit dar. 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 (auch: R, S, T oder L1, L2, L3) 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 elektrischen und magnetischen Felder erzielt werden.

Die Leiteranordnung im Bereich der beiden Minimierungsorte des Pkt. Roxheim ist durch die aus technischen Gründen bereits festgelegte Phasenfolge der bestehenden 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4542, und damit auch der Phasenlagen der Bl. 4532 vorgegeben. Durch die durchgeführte Verschwenkung befindet sich im relevanten nächstgelegenen Spannfeld (Mast 153, Bl. 4532 – Mast 21A, Bl. 4542) nur ein 380-kV-Stromkreis auf dem Spannfeld, der allein nicht optimiert werden kann. Alle weiteren Spannfelder des

Pkt. Roxheim sind deutlich weitere Entfernung zu den Minimierungsorten, wodurch eine Änderung der Phasenlage in diesem Bereich einen vernachlässigbaren Einfluss hat. Eine weitere Optimierung der Phasenlage ist daher in diesem Bereich nicht verhältnismäßig und es wird davon abgesehen.

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 B.

6 Fazit

Die Amprion GmbH plant den Ersatzneubau der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt – BASF, Bl. 4642, und die Umbeseilung eines Stromkreises der 220-/380-kV-Höchstspannungsfreileitung Bürstadt-BASF, Bl. 4542, mit HTLS-Seilen. Dabei wird dieser Stromkreis durch einen 380-kV-Stromkreis ersetzt. Im Zuge dieser Maßnahme werden Stromkreise am Pkt. Roxheim verschwenkt. Die durch dieses Vorhaben hervorgerufenen Immissionen elektrischer und magnetischer Felder wurden in diesem Bericht geprüft.

Die Bewertung erfolgte gemäß den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben der 26. BImSchV [1] i. V. m. der 26. BImSchVVwV [8]. Wie in Kapitel 4.1 und 4.2 dargelegt, werden die Schutzanforderungen an Niederfrequenzanlagen (§3 der 26. BImSchV [1]) sicher eingehalten. Die maximal prognostizierten Werte für die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte betragen 3,2 kV/m und 37 μ T (vgl. Tabelle 12). Sie liegen damit deutlich unterhalb der Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV von 5 kV/m bzw. 100 μ T.

Diese Maximalwerte (3,2 kV/m und 37 μ T) gelten für die Immissions- bzw. Minimierungsorte direkt unter der Leitung. Ausgehend vom Bewertungsbereich nehmen die Felder streng monoton ab – näherungsweise mit $1/r^2$ (Abstandsquadratgesetz).

Dem Kapitel 4.4 lässt sich die Umsetzung des Minimierungsgebots gem. § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV entnehmen. Es wurden alle technischen Möglichkeiten gemäß 26. BImSchVVwV [8] hinsichtlich ihres Minimierungspotentials geprüft und Maßnahmen im Rahmen der Verhältnismäßigkeit wirksam angewendet. Das geplante Vorhaben erfüllt damit die Anforderungen aus § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV [1] hinsichtlich der Minimierung. Das Überspannungsverbot gem. § 4 Abs. 3 der 26. BImSchV [1] wird beachtet.

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

Amprion GmbH
Netzprojekte
Immissionsmanagement Leitungen

i.A. Dr. Saskia Möllenbeck
Fachlich verantwortlich

i.A. Dr. Tobias Vogt
Leitung Portfoliobearbeitung Immissionsmanagement Leitungen

A Verzeichnisse

A.1 Fachliteratur, Gesetze und Normen

- [1] *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).
- [2] *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).
- [3] *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).
- [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] P. Bauhofer, *Handbuch für Hochspannungsleitungen: niederfrequente elektromagnetische Felder und deren wirksame Reduktion*, Wien: Verband d. Elektrizitätswerke Österreichs, 1994.
- [10] D. Oeding und B. R. Oswald, *Elektrische Kraftwerke und Netze*, 7. Hrsg., Heidelberg: Springer, 2013.
- [11] *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.
- [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 50413:2018*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [14] *DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011.
- [15] *DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 1: Allgemeine Anforderungen - gemeinsame Festlegung*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [16] *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.

- [17] *Grundsätze für die Ausbauplanung des deutschen Übertragungsnetzes der vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland.*, Ausgabe Juli 2018.
<https://www.amprion.net/Netzausbau/Netzplanungsgrundsätze/>.
- [18] *Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder.*
- [19] *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 103 der Verordnung vom 9. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328).
- [20] *DIN EN 50341-2 (VDE 0210-2): Freileitungen über AC 45 kV; Teil 2: Index der NNA (Nationale Normative Festsetzung)*, Berlin: VDE Verlag GmbH.
- [21] *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.
- [22] *DIN VDE 105-100 (VDE 0105-100): Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen*, Berlin: VDE Verlag GmbH, 2015.
- [23] *DIN EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

A.2 Abbildungen

Abbildung 1: Leitungsverlauf Bürstadt – BASF (Ludwigshafen am Rhein) (Auszug aus Register 1 der Antragsunterlagen).....	4
Abbildung 2: Mastgrundformen: (a) Einebene, (b) Tonne, (c) Donau	17
Abbildung 3: Auszug aus der EMF Datenbank.....	23

A.3 Tabellen

Tabelle 1: Frequenzabhängige Grenzwerte von Anlagen gemäß 26. BImSchV, Anhang 1 [1].....	7
Tabelle 2: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Einwirkungsbereichs nach LAI [11] für Niederfrequenzanlagen	12
Tabelle 3: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Einwirkungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8] für Niederfrequenzanlagen	13
Tabelle 4: Übersicht über die spannungsabhängige Breite des Bewertungsbereichs nach 26. BImSchVVwV [8] für Niederfrequenzanlagen	13
Tabelle 5: Tabelle der technischen Abschnitte und Erläuterung der Gliederung.....	14
Tabelle 6: Thermisch maximal zulässiger Betriebsstrom I_D der im Bestand vorkommenden und im Vorhaben geplanten Leiterseile und Bündelleiter.	16
Tabelle 7: Spannungsbereiche der deutschen Verteil- und Übertragungsnetz	16
Tabelle 8: Geplante Stromkreisbelegung der Bl. 4642 und der Bl. 4542 je technischem Abschnitt.	18
Tabelle 9: Stromkreisbelegung der Pfalzwerke (PW), Bl. XXII.	22
Tabelle 10: Stromkreisbelegung der Bl. 2328	22
Tabelle 11: Maßgebliche Immissionsorte der Anlage je technischem Abschnitt.	24
Tabelle 12: Feldimmissionen an den maßgeblichen Immissionsorten des Vorhabens.	25
Tabelle 13: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) der Bl. 4642.	29
Tabelle 14: Vergleich der Feldimmissionen bei nicht optimierter Leiteranordnung (ungünstigste Phasenlage) und der geplanten optimierten Leiteranordnung (optimierte Phasenlage) der Bl. 4542.	34

A.4 Abkürzungen

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

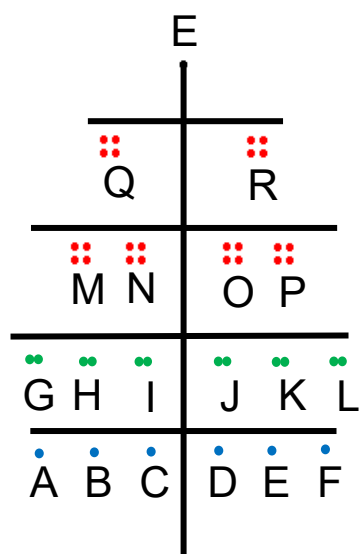
Abs.	Absatz
AL/ST	Seilbezeichnung: Aluminium-Stahl-Seil
AL/ACS	Seilbezeichnung: Aluminium-Stalum-Seil
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Eine Verordnung zur Durchführung des BImSchG
Bl.	Bauleitnummer
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
i.S.	im Sinne
i.V.m.	in Verbindung mit
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, englisch Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
Lfd.	Laufend(e)
Nr. / Nrn.	Nummer / Nummern
Pkt.	Punkt
S.	Satz
TALACS	Seilbezeichnung: temperaturbeständiges Aluminium-Stalum-Seil
UA	Umspannanlage
VDE	VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

A.5 Formelzeichen

In diesem Bericht verwendete Formelzeichen werden kursiv gesetzt. Indizes werden, da sie eine Spezifizierung darstellen (z.B.: Betriebsspannung U_b), geradegesetzt. Physikalische Größen werden in SI-Einheiten¹¹ in der typischerweise verwendeten Größenordnung angegeben.

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

A.6 Konventionen Schemazeichnungen der Mastbilder



- In den schematischen Darstellungen werden der Mast und seine Traversen als einfache Striche in schwarz dargestellt.
- Die Leiterseile werden mit ihrem Buchstaben A-Z gezeigt.
- Die Spannungsebene wird über die Farbe abgebildet:
 - blau:= 110 kV
 - grün:= 220 kV
 - rot:= 380 kV
- Die Anzahl der Leiter / Bündelleiterzahl entspricht der der Anzahl an Punkten

¹¹SI: Système international d'unités (französisch: Internationales Einheitensystem)

B Herstellerzertifikat FGEU – Winfield / EFC-400

Forschungsgesellschaft für Energie und
Umwelttechnologie - FGEU mbH

Hersteller Zertifikat

(Genauigkeit der Feld-, Leistungsflußdichte- und Schallpegelberechnung)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	1.1.2023
PRODUCT RELEASE DATE:	1.1.2023	VERSION:	>= V2023

Die Software ist konform zu DIN EN 50413 mit folgender Berechnungsgenauigkeit:

Der Fehler der Feldberechnung an geraden Leitern beim bestimmungsgemäßen Einsatz der Software ohne die Berücksichtigung von Störeinflüssen durch Bebauung, Bewuchs oder ferromagnetische Materialien etc. beträgt für die magnetische Flußdichte 0.00001% und für die elektrische Feldstärke 0.0001%. Der Fehler der Feldberechnung für gerade Antennen ohne Berücksichtigung von Störeinflüssen beträgt im Fernfeld 0.0001%. Beim Einsatz von Antennenpattern wird der Gewinn bis auf 1% Genauigkeit durch Integration der Pattern bestimmt. Werden segmentierte Elemente wie z.B. kreis- oder spulenförmige Strukturen verwendet, erhöht sich der geometrische Fehler entsprechend der Fehlerdokumentation im Benutzerhandbuch. In der vordefinierten Standardeinstellung beträgt der Berechnungsfehler der magnetischen Flußdichte, der magnetischen und elektrischen Feldstärke, der Leistungsflußdichte sowie des Schallpegels, für die in der Software Dokumentation vorgesehenen Anlagenarten und Betrachtungsfälle ohne Störeinflüsse, folglich maximal:

maximaler Berechnungsfehler = 1.4 %

Die Vernachlässigung der Störeinflüsse durch Bebauung, Bewuchs oder ferromagnetische Materialien ist für die im Personenschutz maßgeblichen Abstände unerheblich, da die Berechnung in diesem Fall dem von der 26. BImSchV ausdrücklich stattgegebenen konservativen Ansatz entspricht und den 'worst-case' darstellt.

Besonderheiten:

Bei der benutzerdefinierten Konstruktion von Anlagen kann der Fehler entsprechend Fehlerdokumentation im Anhang des Benutzerhandbuches kleiner oder größer sein. Insbesondere wirkt sich ein geometrischer Fehler der Größe x% bei Eingabe der Anlagenmaße und Anlagenposition aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten als Fehler der Größe 2x% in der Feldberechnung aus. Dies gilt grundsätzlich, d.h. auch für Messungen an einer Referenzanlage, wenn sogenannte baugleiche Anlagen geometrische Abweichungen wie z.B. differierende Aufstellorte, Wandstärken etc. aufweisen. Eine Vergleichbarkeit mit Meßwerten an Anlagen ist grundsätzlich nur bedingt gegeben, da normgerechte Meßverfahren die Feldstärken über eine Fläche von 100 cm² mitteln, wodurch bereits eine Erhöhung der Feldstärken um bis zu 78% gegenüber punktueller Feldmessung oder Berechnung gegeben sein kann.

FGEU mbH, Yorckstr. 60, D-10965 Berlin

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

Geschäftsführender Gesellschafter, unabhängiger Sachverständiger für Elektromagnetische Umweltverträglichkeit - EMVU

Forschungsgesellschaft
für Energie
und Umwelttechnologie GmbH
Yorckstr. 60, D-10965 Berlin, Tel. 786 97 99, Fax 786 63 89