

Projekt

Nordöstliche Leitungseinführung

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Planfeststellungsunterlage

Unterlage 9.1.1

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV inkl. schalltechnischem Gutachten zur Betriebsphase

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



Eqos Energie

Riesaer Straße 100

04319 Leipzig

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i. V. Julia Gotzler gez. i. V. Andreas Junginger	10.01.2025
Bearbeitung:	EQOS Energie, gez. René Barg	
Anlagen zum Dokument:	- Unterlage 9.1.1: Immissionsbericht (EMF-Untersuchung) inkl. schalltechnischem Gutachten (Betrieb der Leitung) ○ Anhang 1 zum Bericht: Herstellerzertifikate zur Software Win-Field / EFC-400 zum B-Feld und E-Feld ○ Anhang 2 zum Bericht: Herstellerzertifikate zur Software Win-Field / EFC-400 zur Schallausbreitung	
Änderungshistorie:	Änderung:	Änderungsdatum:

**EMF – Untersuchung
(Elektrische und magnetische Felder)**

sowie

**Schalltechnische Untersuchung
(Lärmimmissionsprognose)**

zum Planfeststellungsverfahren für den

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Anlagenbetreiber / Auftraggeber:

TenneT TSO GmbH
Bernecker Straße 70
95448 Bayreuth



Durchführung / Berechnung der Immissionsprognose:

EQOS Energie GmbH
Wolfentalstraße 29
88400 Biberach



Inhaltsverzeichnis

1.	Einführender Teil	4
1.1.	Angaben zur Anlage, Antragsteller und Bearbeiter	4
1.2.	Veranlassung	5
1.3.	Geografischer Bezug	5
1.4.	Aufgabenstellung	5
1.5.	Grundlagen (gesetzliche Anforderungen)	5
2.	(Elektro)Technische Erläuterungen	6
2.1.	Aufbau einer (380-kV-)Freileitung	6
2.2.	Niederfrequente elektrische und magnetische Felder	6
2.3.	Das elektrische Feld	7
2.4.	Das magnetische Feld	7
2.5.	Auftreten und Abschirmung	7
2.6.	Primäre Minimierungsmaßnahmen	9
2.7.	Sekundäre Minimierungsmaßnahmen	9
2.8.	Lärmimmissionen	13
2.8.1.	Einwirkung durch Regen	13
2.8.2.	Zuschlag für Tonhaltigkeit	13
2.9	Minimierungsgebot (26. BImSchVVwV)	13
2.9.1	Maßgebliche Minimierungsorte	16
3.	Gesetzliche Grenzwerte	17
3.1.	Elektrische und magnetische Felder	17
3.2.	Lärmimmissionen	18
4.	Ausgangssituation	19
4.1.	Übersicht der verwendeten Unterlagen	19
4.2.	Technische Parameter	19
4.2.1.	Parameter der geplanten 380-kV-Leitung	19
4.2.2.	Parameter zu den vorgesehenen Leitern	19
4.2.3.	Umgebungsbedingungen für elektrische und magnetische Felder	20
4.2.4.	Umgebungsbedingungen zur Schallausbreitung	20
4.2.4.1.	Abschirmung / Reflexion	20
4.2.4.2.	Luftabsorption	21
4.2.4.3.	Bodeneffekt	21
4.2.4.4.	Meteorologische Korrektur	21
5.	Kartografische Darstellung	22
5.1.	Übersicht der technischen Unterlagen	22

5.2.	Übersicht der immissionsrechtlichen Unterlagen.....	22
6.	Ermittlung der Immissionen	23
6.1.	Verwendete Software	23
6.2.	Verwendete Geodaten	23
6.3.	Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte	23
6.4.	Bewertungsabstand und Einwirkbereich	23
6.5.	Maßgebliche Immissions- und Minimierungsorte.....	24
6.6.	Ermittlung der maßgeblichen Immissions- und Minimierungsorte für die Provisorien	24
6.7.	Oberwellenanteile	24
7.	Ergebnisse.....	25
7.7.	Grenzwerteinhaltung	25
7.8.	Überspannungsverbot.....	25
7.9.	Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden	25
7.10.	Raumentladungswolken	26
7.11.	Minimierungsgebot.....	26
7.12.	Darstellung der Berechnungsergebnisse	26
8.	Qualität	27
8.7.	Bestätigung der Richtigkeit aller Angaben	27
8.8.	Angaben zu Berechnungsunsicherheiten	27
8.9.	Schwierigkeiten in der Erstellung der Untersuchung	28
9.	Fazit der Bewertung	28
10.	Ergebnis / Zusammenfassung.....	29
11.	Glossar	30
12.	Abbildungsverzeichnis.....	31
13.	Tabellenverzeichnis	31

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120



1. Einführender Teil

1.1. Angaben zur Anlage, Antragsteller und Bearbeiter

Die vorliegende Untersuchung bewertet die zu erwartenden Immissionen durch elektrische und magnetische Felder im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das Projekt „Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West“.

Im Folgenden sind Informationen über das Planfeststellungsverfahren, die Anlage und die beteiligten Institutionen aufgeführt.

Bezeichnung des Abschnittes und der Anlage:

380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Verfahren:

Planfeststellungsverfahren nach §43 EnWG

Verfahrensführende Behörde:

Regierung von Mittelfranken

Sachgebiet 32 – Planfeststellung, Straßenrecht, Baurecht

Promenade 27

91511 Ansbach

Antragsteller / Betreiber und Auftraggeber der Untersuchung:

TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Durchführung der Untersuchung / Auftragnehmer:

EQOS-Energie Deutschland GmbH

Wolfentalstraße 29

88400 Biberach

Bearbeiter:

Verantwortlicher Bearbeiter

Peter Lohmüller (EQOS-Energie)

Gesamtbearbeitung Immissionsunterlage:

Leitungstechnische Berechnung

Immissionsberechnung

Prüfung Immissionen

Bericht und Prüfung

Prüfung Auftraggeber

Lilli Sonntag (EQOS-Energie)

Dipl. Ing. David Piwonski (EQOS-Energie)

Betriebswirt René Barg (EQOS-Energie)

Akad. Geoinformatiker Peter Lohmüller

Andreas Junginger (TenneT TSO)

Berichtsdatum: 24.10.2024

Version: V.1

Sachkundehinweis:

Die für die Berechnung und Interpretation notwendige Sachkunde ergeht über die akademischen Abschlüsse und wird im Rahmen wiederkehrender Schulungen bei der FGEU mbH von den bearbeitenden und prüfenden Personen aktualisiert.

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120



1.2. Veranlassung

Die TenneT TSO GmbH (künftig TenneT genannt) plant, wie im Erläuterungsbericht unter Unterlage 1.1 genannt, die Errichtung und den Betrieb der 380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120 als Ersatzneubau vom neuen Umspannwerk (UW) Raitersaich_West bis Mast 4 für die bestehende und rückzubauenden 380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120 vom bestehenden UW Raitersaich bis Mast 4.

Die Leitung erstreckt sich zwischen dem neuen Umspannwerk auf einer direkten Länge von etwa 1,8 km auf dem Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland und des Landes Bayern, im Landkreis Ansbach des Regierungsbezirkes Mittelfranken. Die Trassenführung orientiert sich im Wesentlichen an der direkten Verbindung zwischen den zu verbindenden und anzuspringenden Umspannwerken.

Im Zuge des Planfeststellungsverfahrens werden die Auswirkungen durch den Betrieb der geplanten Leitungsanlagen bezüglich deren elektrischen und magnetischen Immissionen als Prognose berechnet und grafisch (in Unterlage 9.1.3-9.1.4) sowie tabellarisch unter Kapitel 7.6 dieses Berichtes dargestellt.

Auch hinsichtlich des künftigen Betriebslärms wurde die geplante Anlage hier untersucht und eine Schallimmissionsprognose grafisch in dieser Unterlage 9.1.5 erstellt, sowie identisch zur EMF-Untersuchung die Werte in die Tabelle unter Kapitel 7.6 dieses Berichtes eingetragen.

1.3. Geografischer Bezug

Der detaillierte Verlauf ist aus den beiliegenden Genehmigungsunterlagen zu entnehmen, hierbei im Speziellen den Übersichtsplänen (Unterlage 2.1) und den Lageplänen (Unterlage 4.1), welche anhand der im Übersichtsplan eingetragenen Blattschnitte zugeordnet werden können.

Betreffend der Immissionen selbst wird auf den Inhalt der Unterlage 9 verwiesen. Diese beinhaltet nebst der Prognosen für die einzelnen Abschnitte und den zugehörigen tabellarischen Zusammenstellungen der Immissionen an den jeweils zu beurteilenden Immissionsorten auch die zugehörigen Lagepläne mit der zu erwartenden magnetischen Immission (B-Feld), elektrischen Feldern (E-Feld), sowie den Isophonenkarten zum Thema Betriebslärm (Schallimmissionspläne). Parallel zur hier festgehaltenen Dokumentation wird auch auf das Kapitel zu den Immissionen im Erläuterungsbericht (Unterlage 1.1) verwiesen, welches sich ebenfalls mit dem Thema befasst.

1.4. Aufgabenstellung

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Vorgaben für elektrische und magnetische Felder, sowie der zulässigen Lärmimmissionen durch das Vorhaben der geplanten Leitungsanlagen zu berechnen, eine Prognose hierfür auszuarbeiten und den Nachweis über die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte in der Gesamtunterlage beizubringen.

1.5. Grundlagen (gesetzliche Anforderungen)

Die rechtliche Grundlage für die Aufgabenstellung bildet die 26. BImSchV sowie die mit ihr in Verbindung stehende 26. BImSchVVwV.

Ebenfalls sind bereits in den Grundlagen unter Unterlage 9.1.2 genannten Regelwerke und Gesetze zum Thema der Lärmimmission zu berücksichtigen, im Speziellen die TA Lärm, sowie mögliche witterungsbedingte Anlagengeräusche (vgl. EnWG §49 Abs. 2b).

Gemäß den zuvor genannten Anforderungen ist sicherzustellen, dass die hier zu genehmigende Niederfrequenzanlage bei höchster betrieblicher Auslastung die vorgegebenen Grenz- und Richtwerte (vgl. Kapitel 3) stets eingehalten werden.

2. (Elektro)Technische Erläuterungen

2.1. Aufbau einer (380-kV-)Freileitung

Vorab wird beispielhaft die Bauweise einer 380-kV-Leitung dargestellt, um in den folgenden Kapiteln auftretende Bezeichnungen zu erläutern.

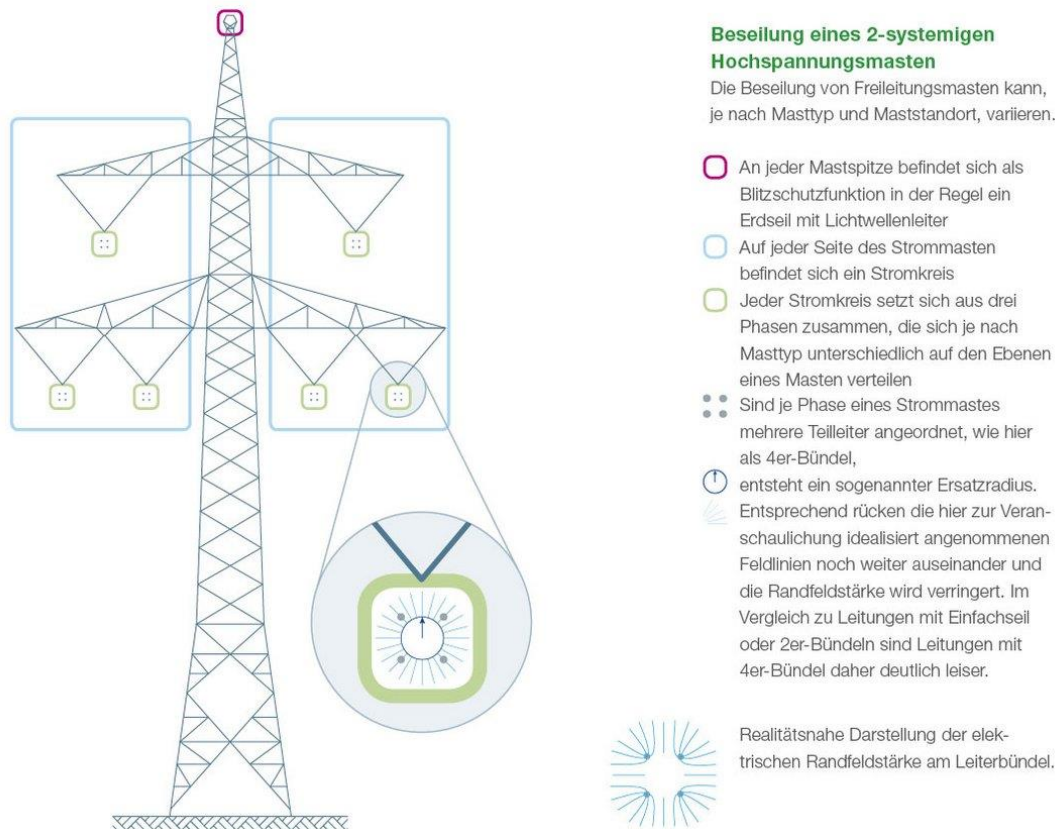


Abbildung 1: Aufbau/Beseilung eines Freileitungsmastes (Donaumast) (Quelle: TenneT TSO GmbH)

Sollten Fachbegriffe unbekannt sein und diese nicht in den einzelnen Textabschnitten selbst erklärt werden, befindet sich am Ende des Dokumentes das Glossar, welches diese kurz beschreibt.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder sind voneinander unabhängig und werden daher auch hier in der Unterlage getrennt voneinander betrachtet.

2.2. Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Beim Betrieb von Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität werden elektrische und magnetische Felder mit einer Frequenz von 50 Hz erzeugt, welche zum so genannten Niederfrequenzbereich gehört. Diese sind in unmittelbarer Nähe der stromführenden Leiter der Höchstspannungsfreileitung am größten und nehmen mit zunehmender Entfernung zu den Leitern rasch ab. Diese elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten lassen sich berechnen und als Prognoseergebnis in der hier vorliegenden Immissionsunterlage darstellen.

2.3. Das elektrische Feld

Ursache des elektrischen Feldes ist die anliegende Spannung. Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter (V/m) oder Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

Der Betrag hängt ab von:

- der Höhe der Spannung
- der Entfernung zum Immissionsort bzw. den Abständen zum Boden
- der Konfiguration der Leiterseile am Mast
- dem Vorhandensein von Erdseilen
- der Phasenfolge

Da Netze mit annähernd konstanter Spannung betrieben werden, ergibt sich kaum eine Variation der Feldstärke. Die Feldstärke verändert sich lediglich durch die mit der Leiterseiltemperatur variierenden Bodenabstände.

2.4. Das magnetische Feld

Ursache für das magnetische Feld ist der elektrische Strom. Die magnetische Feldstärke wird in Ampere pro Meter (A/m) angegeben. Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte herangezogen, die bei Vakuum und näherungsweise auch bei Luft ausschließlich über die physikalische Konstante (magnetische Feldkonstante) μ_0 mit der magnetischen Feldstärke verknüpft ist. Die Maßeinheit der magnetischen Flussdichte ist das Tesla (T). Sie wird zweckmäßigerweise in Bruchteilen als Mikrottesla (μT) angegeben.

Je größer die Stromstärke, desto höher ist auch die magnetische Flussdichte.

Da die Stromstärke stark von der Netzbelastung abhängt, ergeben sich tages- und jahreszeitliche Schwankungen der magnetischen Flussdichte.

Wie auch beim elektrischen Feld hängt die räumliche Ausdehnung und Größe ab von

- der Höhe des Stromes
- der Entfernung zum Immissionsort bzw. den Abständen zum Boden
- der Konfiguration der Leiterseile am Mast
- dem Vorhandensein von Erdseilen
- der Phasenfolge

Die Feldstärke bzw. Flussdichte verändert sich zusätzlich durch die mit der Leiterseiltemperatur variierenden Bodenabstände.

2.5. Auftreten und Abschirmung

Die stärksten elektrischen und magnetischen Felder treten direkt unterhalb der Freileitungen zwischen den Masten am Ort des größten Durchhanges der Leiterseile auf. Die Stärke der Felder nimmt mit zunehmender seitlicher Entfernung von der Leitung ab.

Elektrische Felder können durch elektrisch leitfähige Materialien, z. B. durch bauliche Strukturen oder Bewuchs, gut abgeschirmt werden.

Magnetfelder können anorganische und organische Stoffe nahezu ungestört durchdringen.

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Im Regelbetrieb (maximaler Betriebsstrom = 4000 A) liegt die magnetische Flussdichte direkt unter der 380-kV- Drehstromleitung der hier betrachteten Anlagen bei etwa 20 μT , der gesetzliche Grenzwert von 100 μT (gem. 26. BImSchV) wird dadurch deutlich unterschritten.

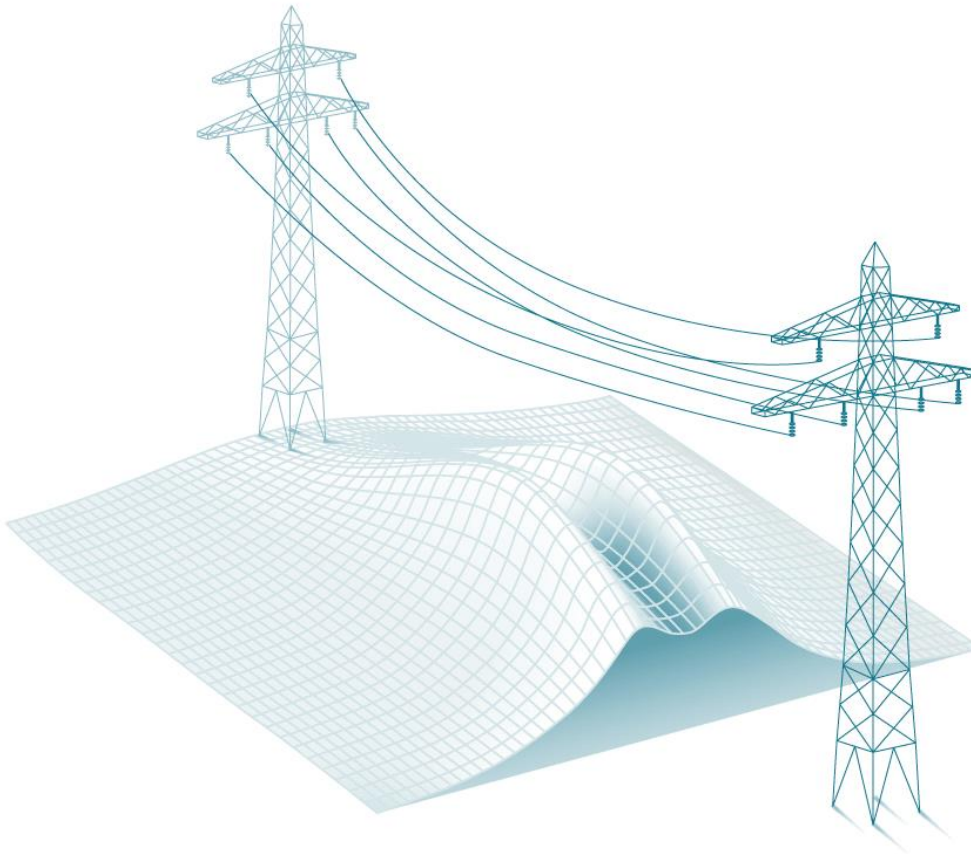


Abbildung 2: Darstellung eines magnetischen Feldes unter einer 380-kV-Leitung (mit Donaumasten) (Quelle: TenneT TSO GmbH)

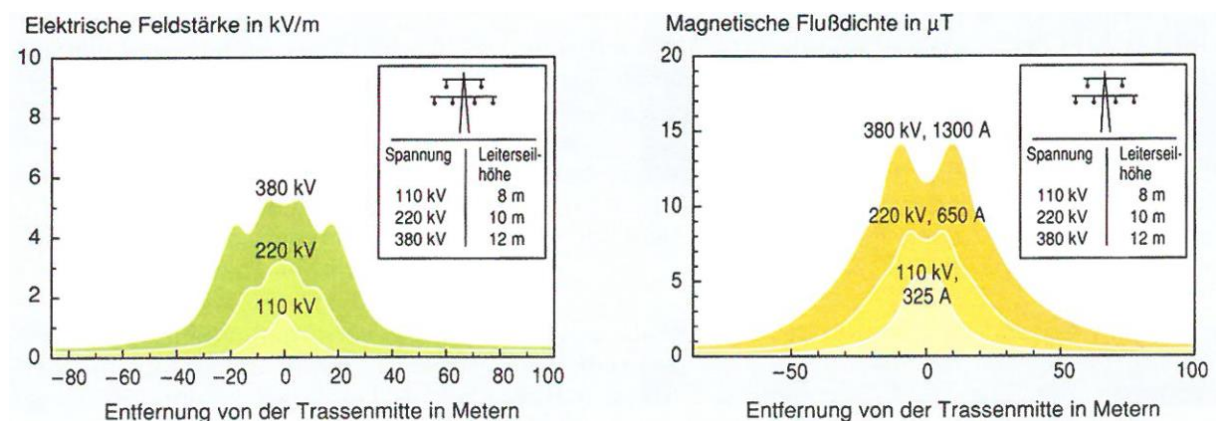


Abbildung 3: Ausbreitung des magnetischen Feldes unter einer 380-kV-Leitung (mit Donaumasten) (Quelle: TenneT TSO GmbH)

In den Immissionsberechnungen wird das elektrische Feld nicht mit der Nennspannung von 380-kV, sondern mit der Bemessungsspannung von 420-kV berechnet. Die Bemessungsspannung spezifiziert den maximalen Wert der elektrischen Spannung im Normalbetrieb und die Grundlage für die Bemessung aller Betriebsmittel.

2.6. Primäre Minimierungsmaßnahmen

Als primäre Minimierungsmaßnahmen werden die Möglichkeiten herangezogen, welche die Grundlage der technischen Planung bilden – den Trassierungsgrundsätzen der Vorhabenträgerin.

Diese gehen meist über die gesetzlichen Anforderungen wie der technischen Norm (DIN EN 50341) oder beispielsweise auch den Vorgaben aus der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV“ (26. BImSchVVwV) hinaus und umfassen im Wesentlichen:

- Einhaltung eines Mindestbodenabstandes von 12,5 m am niedrigsten Punkt einer 380-kV-Leitung (üblicherweise der unteren Leiterseile in Feldmitte zwischen den Masten)
- Erreichung eines größtmöglichen Abstands durch optimierten Verlauf zwischen Wohnlagen hindurch

2.7. Sekundäre Minimierungsmaßnahmen

Zusätzlich zu den primären Minimierungsmaßnahmen sind weitere technische Optionen zur Immissionsminimierung möglich.

Auf der geplanten Freileitung werden 2 Stromkreise mit je 3 Phasen als Drehstromsystem und Erdseile, welche vorrangig als Blitzschutz dienen, installiert.

Maßgebliche Faktoren für die Immissionen haben induktive und kapazitive Einwirkungen der einzelnen Phasen eines Drehstromsystems einerseits untereinander, aber auch zum anderen System, sowie gegenüber dem Erdpotential der Erdseile und des umgebenden Geländes. Durch diesen Kapazitäts- und bei Freileitungen höher auftretenden Induktivitätsbelag erhöht sich die Blindleistung, welche beim Betrieb zu kompensieren ist. Für die Verringerung der Blindleistung bzw. zur Blindleistungskompensation sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Leiterquerschnitt: Durch einen hohen Leiterquerschnitt des verwendeten Leiterseiles und zusätzlicher Verwendung von einem 4er-Bündel je Phase treten deutlich weniger Korona-Entladungen auf.
Dadurch wird nicht nur der Übertragungsverlust (Blindleistung) minimiert, sondern auch die Geräusche verringert.
- Wichtiger und einflussreicher Aspekt ist weiterhin die Phasenlage, also wie die einzelnen Phasen auf den Masten aufgelegt werden und welcher Einfluss sich daraus hinsichtlich der Immissionen ergibt. Wie die einzelnen Phasenlagen aussehen, wird im Folgenden näher beschrieben.

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Folgende beispielhafte Phasenlagen an verschiedenen Masten (unterschiedlich einsetzbaren Gestängen) sind möglich. Die dabei ungünstige Phasenlage in Bezug auf deren gegenseitigen Einfluss und resultierenden Immissionen ist in rot dargestellt, die günstigste Phasenlage in grün.

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass die Darstellung beispielhafte Phasenlagen für verschiedene Masttypen abbilden. Die rot dargestellte und schlechteste Phasenlage ist im internen Regelwerk der Vorhabenträgerin gar eine ausgeschlossene Phasenlage.

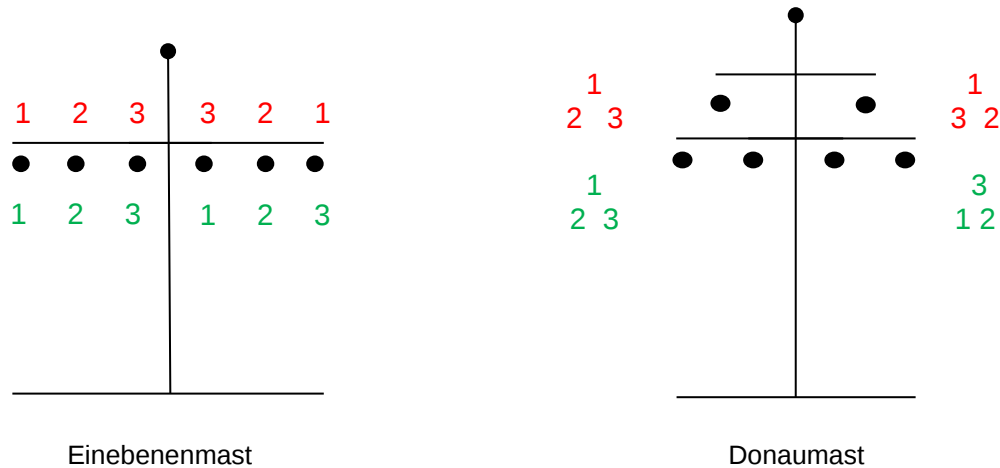


Abbildung 4: schematische Darstellung möglicher Phasenlagen an unterschiedlichen Masttypen

Unter Berücksichtigung dieser optimalen oder günstigen bzw. schlechtesten oder ungünstigsten Phasenlage können die Belastungen für den Regelbetrieb errechnet werden.

Die folgenden Grafiken der Abbildungen 5 bis 8 zeigen beispielhaft die Berechnungsergebnisse beim Schnitt quer zur Leitung, mittig im Feld, also am tiefsten Punkt der Leitung.

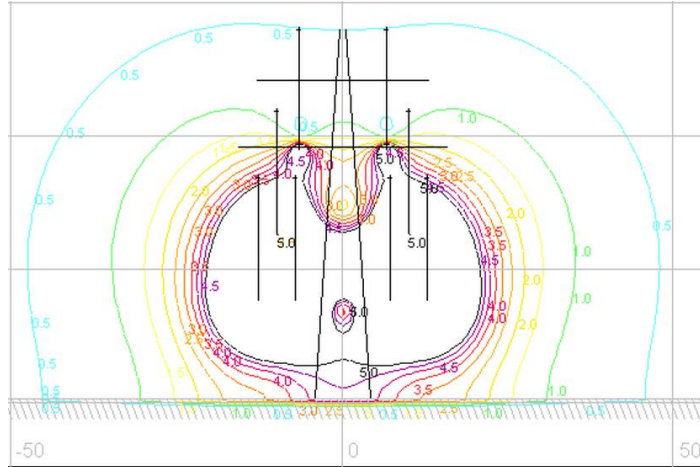
Dabei werden die seitlichen Abstände für das E-Feld bis etwa je 50 m (Höhenlinienabstand jeweils 20 m) und für das B-Feld bis etwa 100 m angezeigt (Höhenlinienabstand jeweils 20 m), sowie die berechneten Werte für das E-Feld in kV/m bzw. für das B-Feld in μT .

Die Abgrenzung der einzelnen Stufen wird mittels Isolinien aufgezeigt.

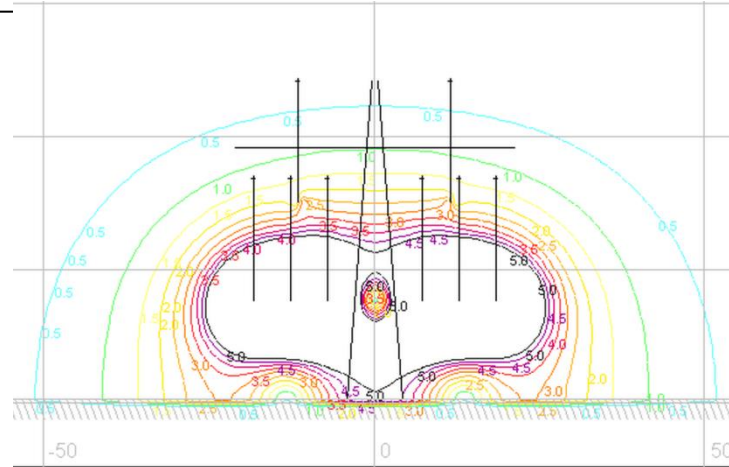
Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

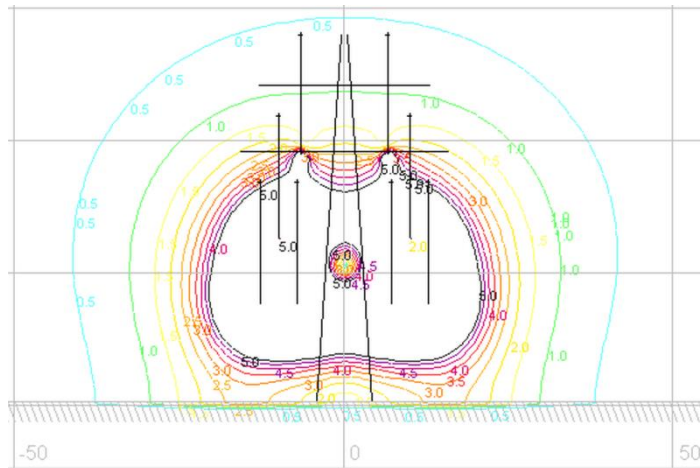


Donaumast

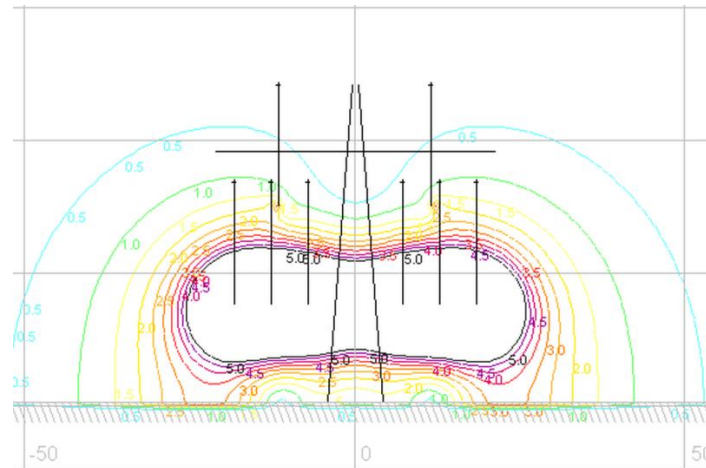


Einebenenmast

Abbildung 5: Darstellung der Immissionen zum **E-Feld** bei **ungünstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH)



Donaumast



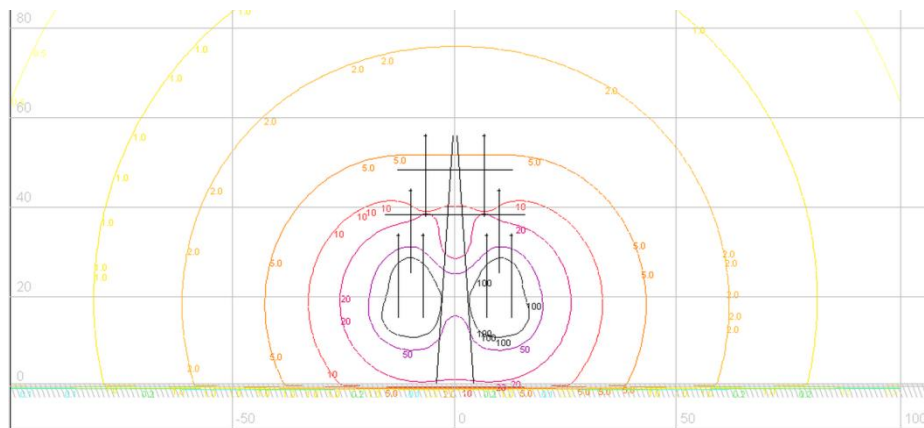
Einebenenmast

Abbildung 6: Darstellung der Immissionen zum **E-Feld** bei **günstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH)

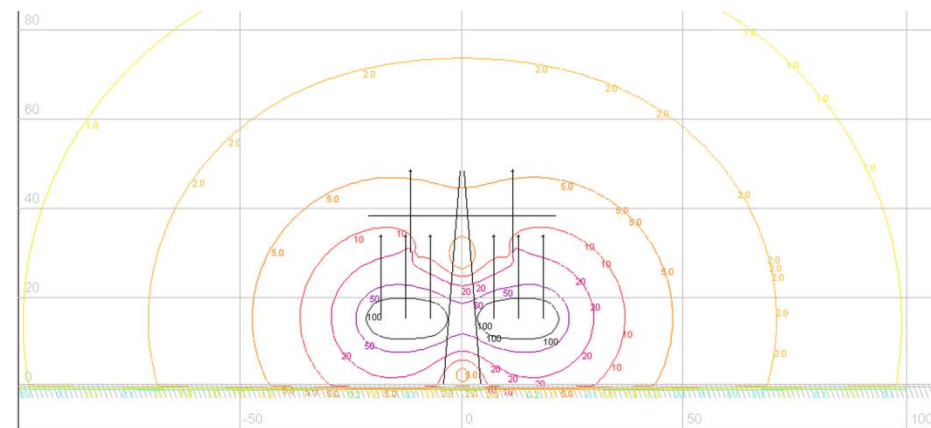
Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West

380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

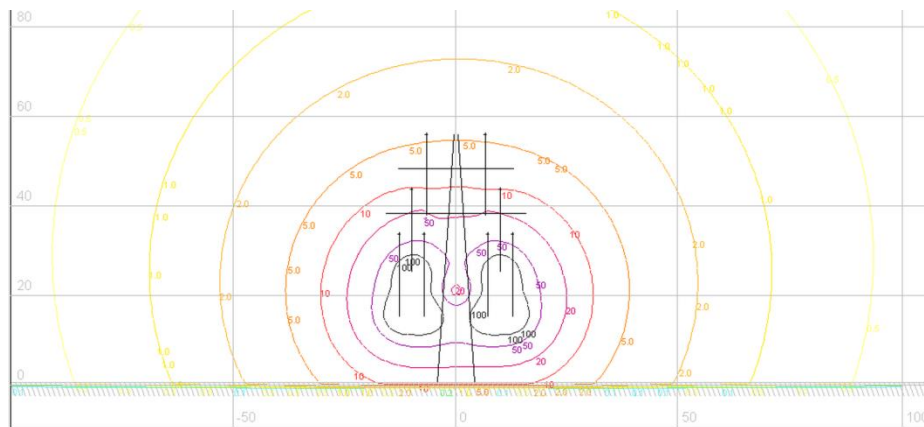


Donaumast

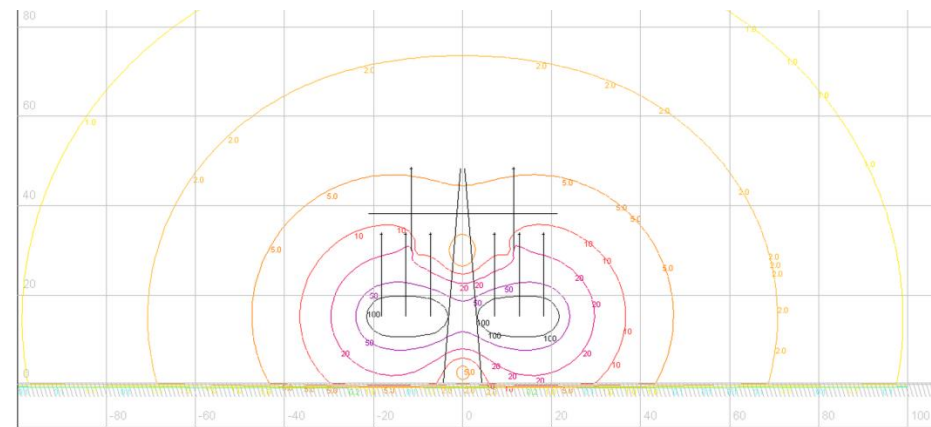


Einebenenmast

Abbildung 7: Darstellung der Immissionen zum **B-Feld** bei **ungünstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH)



Donaumast



Einebenenmast

Abbildung 8: Darstellung der Immissionen zum **B-Feld** bei **günstigster** Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH)

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120



2.8. Lärmimmissionen

Ursache für die Lärmimmission, als die zu beurteilende Betriebsgeräusche der Freileitung ist im Besonderen abhängig von

- den Abständen zur Freileitung
- der Spannungsebene
- den Leiterquerschnitten

Natürlich ist auch das Vorhandensein von Lärmabsorbierenden Hindernissen von Belang, welche hier jedoch zu Gunsten der Betroffenen nicht mit einbezogen werden (siehe auch Umgebungsbedingungen in Kapitel 4.2.6).

Weiterhin zu berücksichtigende Faktoren in der Lärmbetrachtung werden in den folgenden Unterkapiteln aufgeführt.

2.8.1. Einwirkung durch Regen

Während des Betriebes von Freileitungen kann es bei sehr feuchter Witterung (Regen oder hohe Luftfeuchte) zu Korona-Entladungen an der Oberfläche der Leiterseile kommen. Dabei können, zeitlich begrenzt, Geräusche verursacht werden. Die Schallpegel hängen neben den Witterungsbedingungen im Wesentlichen von der elektrischen Feldstärke auf der Oberfläche der Leiterseile ab. Diese so genannte Randfeldstärke ergibt sich wiederum aus der Höhe der Spannung, der Anzahl der Leiterseile je Phase sowie aus der geometrischen Anordnung und den Abständen der Leiterseile untereinander und zum Boden.

Die Intensität der Koronageräusche ist in großem Maße von der Regenmenge abhängig. Das Auftreten von starkem nächtlichen Dauerregen (Niederschlagsmenge > 3,5 mm/h) mit einer Dauer von mehr als einer Stunde tritt im Jahresmittel jedoch eher selten auf und ist mit weniger als 20 Nachtstunden pro Jahr anzunehmen (s.a. Grundlagen zur Berechnung). Je nach Luftfeuchtigkeit und Abtrockengeschwindigkeit der Leiterseile nach dem Niederschlag existiert noch ein niederfrequentes Brummen im Bereich von 100 Hz, welches jedoch um 10 - 20 dB(A) geringere Schallimmissionen als durch Regen hervorgerufene Koronageräusche verursacht. Gemäß §49 Abs. 2b des EnWG gelten witterungsbedingte Anlagengeräusche von Höchstspannungsnetzen unabhängig von der Häufigkeit und Zeitdauer der sie verursachenden Wetter- und insbesondere Niederschlagsgeschehen bei der Beurteilung des Vorliegens schädlicher Umwelteinwirkungen im Sinne von § 3 Absatz 1 und § 22 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes als seltene Ereignisse im Sinne der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm). Bei diesen seltenen Ereignissen kann der Nachbarschaft eine höhere als die nach Nummer 6.1 der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (vgl. Tabelle 1 in Kapitel 3.2) zulässige Belastung zugemutet werden.

2.8.2. Zuschlag für Tonhaltigkeit

Um die subjektiv erhöhte Störwirkung von reinen Tönen pauschal zu berücksichtigen, sieht die TA Lärm unter anderem die Vergabe eines Zuschlages für Tonhaltigkeit in Höhe von 3 dB oder 6 dB vor. Um die von den Geräuschimmissionen der Koronageräusche betroffene Bebauung entlang des Trassenverlaufs zu berücksichtigen, wurde **vorsorglich der pauschale Tonzuschlag von 3 dB mit einbezogen**.

2.9 Minimierungsgebot (26. BImSchVVwV)

Gemäß 26. BImSchV sind 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 unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im

Unterlage 9.1.1

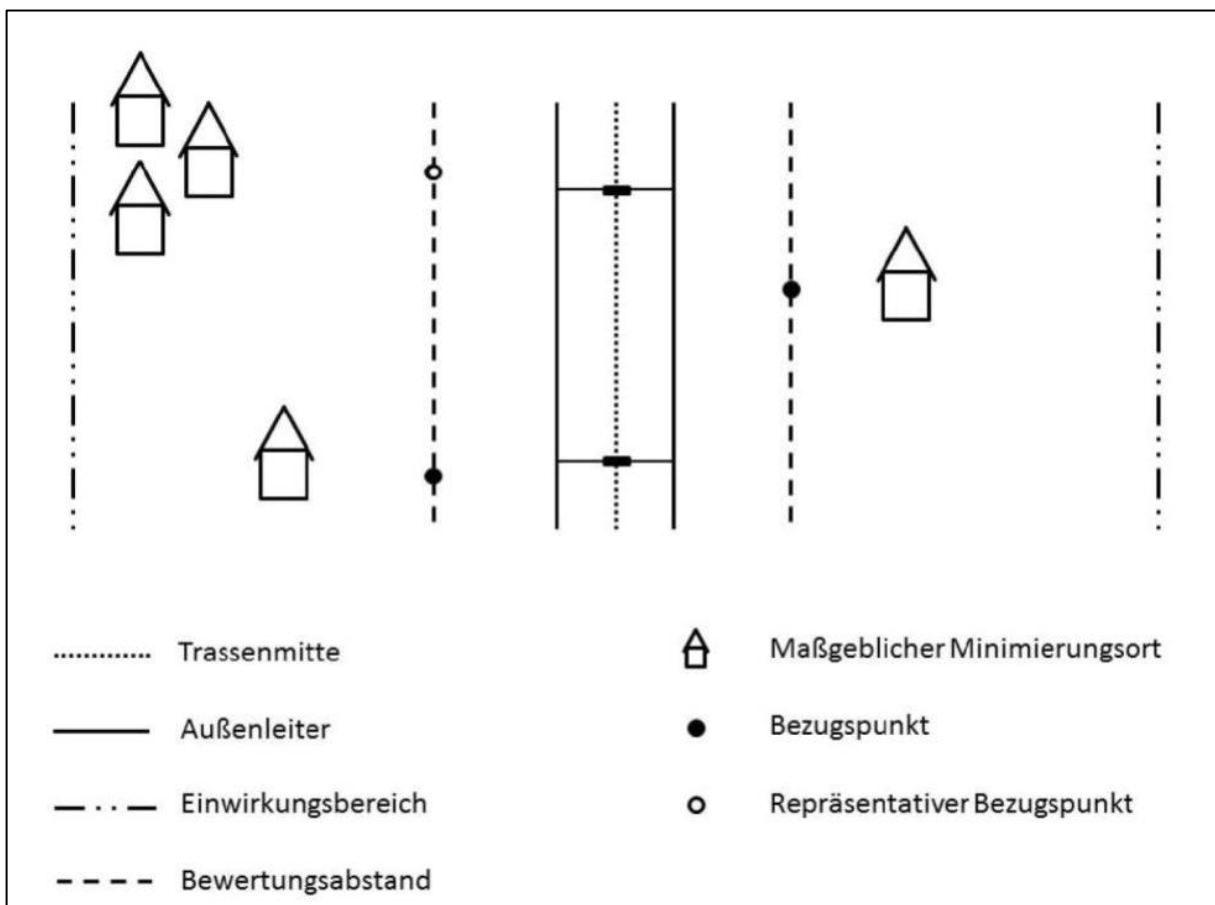
Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Einwirkungsbereich zu minimieren. Die näheren Anforderungen sind in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV [26. BImSchVVwV] geregelt.

Der **Einwirkungsbereich** beträgt 400 m um die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters der Freileitung.

Ein **maßgeblicher Minimierungsort** ist ein im Einwirkungsbereich der Freileitung liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Absatz 1 26. BImSchV (Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen) sowie jedes Gebäude oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist.

Der **Bezugspunkt** ist ein Punkt, der für maßgebliche Minimierungsorte, die außerhalb des Bewertungsabstandes liegen, ermittelt wird. Er liegt im Bewertungsabstand auf der kürzesten Geraden zwischen dem jeweiligen maßgeblichen Minimierungsort und der jeweiligen Trassenachse. Bei dichter Bebauung und damit einer Vielzahl von Bezugspunkten können stattdessen ein oder mehrere **repräsentative Bezugspunkte** gewählt werden. Nachfolgend ist eine beispielhafte Darstellung für die Festlegung von Bezugspunkten gegeben.



Beispielhafte Darstellung von Einwirkungsbereich und Bewertungsabstand einer Freileitung. Alle maßgeblichen Minimierungsorte liegen außerhalb des Bewertungsabstandes, weshalb Bezugspunkte festgelegt werden. Drei der maßgeblichen Minimierungsorte liegen nah zusammen, sodass hier ein (gemeinsamer) repräsentativer Bezugspunkt festgelegt wird. Darstellung entnommen aus Anhang II zu Nummer 3.2.2.1 der 26. BImSchVVwV.

Die Abstände sind jeweils zur Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters der Freileitung angegeben.

Befindet sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der Freileitung sind Minimierungsmaßnahmen zu prüfen. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig betrachtet.

Die technischen Möglichkeiten zur Minimierung sind für Energieübertragungsanlagen mit 50 Hertz unter der Nr. 5.3 der 26. BImSchVVwV aufgeführt. Zunächst werden im Allgemeinen die Möglichkeiten für **Drehstromfreileitungen** (Nr. 5.3.1), welche überwiegend beim hier geplanten Leitungsabschnitt eingesetzt werden, erläutert und in dem folgendem Abschnitt das Drehstromerkabel. Die technischen Möglichkeiten zur Minimierung umfassen für Drehstromfreileitungen folgende Punkte:

- Abstandsoptimierung (Nr. 5.3.1.1): Das Ziel besteht darin, die Distanz zwischen den Leiterseilen und den maßgeblichen Minimierungsorten zu vergrößern. Bei der hier geplanten Leitung beträgt der geringste Bodenabstand in Bereichen der 380-/110-kV-Leitungsführung 8,0 m und liegt somit ca. 0,5 m über dem nach DIN EN 50341-1 mindestens geforderten Normwert von 7,0 m.
- Elektrische Schirmung (Nr. 5.3.1.2): Für die elektrische Schirmung ist eine zusätzliche Traverse notwendig und die Maßnahme ist nur wirksam, wenn dieses Erdseil unterhalb oder seitlich der Leitungssysteme angebracht sind. Dies hat zur Folge, dass höhere Maste eingesetzt werden müssen, die sich nachteilig auf das Landschaftsbild und den Vogelschutz (höheres Anflugrisiko) auswirken können. Die Maßnahme hat ausschließlich Auswirkungen auf das elektrische Feld, welches im Gegensatz zum magnetischen Feld auch von anderen, vorhandenen Objekten in der Landschaft und auch von Hauswänden gut abgeschirmt wird. Im Hinblick auf das geringe Minimierungspotential und dem gegenüberstehenden Aufwand und der umweltfachlichen Nachteile wird auf diese Minimierungsmaßnahme verzichtet.
- Minimieren der Seilabstände (Nr. 5.3.1.3): Eine Minimierung der Seilabstände erfolgt bereits bei der Konstruktion der Mastgestänge, welche in diesem Leitungsabschnitt eingesetzt werden. Zusätzlich werden die Isolatoren der Tragmaste als V-Ketten ausgeführt, was zu geringeren Ausschwingweiten und damit zu geringeren Seilabständen führt. Hierbei muss allerdings immer auch der minimal zulässige Leiterseilabstand zwischen den einzelnen Phasen sowie zu geerdeten Anlagenbauteilen berücksichtigt werden. Weiterhin spielen auch betriebliche Anforderungen (z. B. Besteigbarkeit und Zugänglichkeit von Anlagenteilen während des Betriebes) eine Rolle und entsprechende Mindestabstände müssen gewährleistet sein.
- Optimieren der Mastkopfgeometrie (Nr. 5.3.1.4): Grundsätzlich bildet das Donaumastbild das Optimum aus Leitungshöhe und Trassenbreite im Vergleich zu anderen Mastbildern und ist daher zu bevorzugen. Bei der geplanten Leitung kommt bis auf Mast 1 ein Mischgestänge zum Einsatz, das bis Mast 21 aus zwei Einebenenmastgestängen und ab Mast 22 aus einer Kombination aus Donau- und Einebenenmastgestänge besteht. Mast 1 ist ein Einebenenmast. Die 26. BImSchVVwV bevorzugt zwar eine vertikale Anordnung (z. B. beim Tonnenmast) der Außenleiterseile, dieses Mastkopfbild ist aber aus Gründen technischer, wirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Randbedingungen nur im Ausnahmefall realisierbar.
- Optimieren der Leiteranordnung (Nr. 5.3.1.5): Eine allgemeingültige, optimale Leiteranordnung zur Optimierung der elektrischen und magnetischen Felder gibt es nicht, denn abhängig vom Beurteilungsort kann sich die optimale Leiteranordnung unterscheiden. Die Leiter für jeden einzelnen Immissionsort optimal anzuordnen, ist somit allein aus technischen Gründen nicht möglich. Im Allgemeinen werden die Leiteranordnungen in einem Netz so koordiniert und festgelegt, dass sich für dieses Netzgebilde geringstmögliche Unterschiede zwischen den Spannungen des Drehstromsystems ergeben. Insofern hat die Vorhabenträgerin für ein Neubauprojekt nur geringe Freiheitsgrade, die Leiteranordnung in einem Leitungsabschnitt

ausschließlich mit dem Ziel der Felddoptimierung zu wählen. Eine Optimierung der Leiteranordnung der Neubauleitung kann unter Umständen zur Folge haben, dass es im gesamten Netz zu Anpassungen der Leiteranordnungen kommen kann. Umfangreiche Umbaumaßnahmen auf anderen Leitungen und in Umspannwerken könnte die Folge sein. Für dieses Projekt wurden die netztechnisch notwendigen Leiteranordnungen vorausgesetzt.

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

Das Minimierungsgebot verlangt keine Alternativenprüfung (z.B. Erdkabel statt Freileitung) und keine Prüfung einer alternativen Trassenführung.

Wirkt sich eine Maßnahme unterschiedlich auf das elektrische und das magnetische Feld aus, ist die Minimierung des magnetischen Feldes zu bevorzugen.

2.9.1 Maßgebliche Minimierungsorte

Bei dem Ersatzneubau vom neuen Umspannwerk (UW) Raitersaich_West bis Mast 4 der 380-kV-Ltg. Raitersaich – Cadolzburg, LH-07-B120 liegen keine maßgebliche Minimierungsorte (MMO) vor. Das nächstliegende Gebäude, welches zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist, befindet sich (Gemarkung Buchschwabach, Flurstück 1082) in einem Abstand von 420 m zum ruhenden äußeren Leiterseil und damit außerhalb des Einwirkungsbereiches. Eine Minimierungsprüfung wird daher nicht durchgeführt.

3. Gesetzliche Grenzwerte

Für das Genehmigungsverfahren sind die mit der Maßnahme verbundenen Immissionen exemplarisch darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenz- und Richtwerte zu beurteilen. Hierbei handelt es sich um elektrische und magnetische Felder sowie um Koronageräusche, die von den geplanten Freileitungen erzeugt werden können.

3.1. Elektrische und magnetische Felder

Die gesetzlichen Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder sind in der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) festgelegt. Diese gibt als Grenzwerte bei einem Betrieb mit 50 Hertz (niederfrequente Anlagen) folgende Maximalwerte vor:

- für die magnetische Flussdichte **100 Mikrottesla (μT)**
- für die elektrische Feldstärke **5 Kilovolt pro Meter (kV/m)**.

Nach § 4 Abs. 2 der 26. BImSchV sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Dieser Forderung wurde durch die Festlegung der Bodenabstände auf mindestens 12 m nachgekommen.

Weitere Parameter, die die elektrischen und magnetischen Felder beeinflussen, sind die Wahl der Mastgeometrie, des Leiterseilquerschnittes, der Anzahl der Teilleiter sowie die Anordnung der einzelnen Phasen. Bereits zu Projektbeginn wurden diese Parameter unter Beachtung des Minimierungsgebotes im Rahmen der technischen Machbarkeit festgelegt.

Die in der Verordnung genannten Grenzwerte basieren auf den von der Internationalen Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung (ICNIRP) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vorgeschlagenen Grenzwerten und sollen dem Schutz und der Vorsorge der Allgemeinheit vor den Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern dienen. Die Werte werden ebenfalls vom Rat der Europäischen Gemeinschaft empfohlen.

In Deutschland sind den Berechnungen und Beurteilungen die höchste betriebliche Anlagenauslastung zugrunde zu legen (Nennlast). Im Betrieb werden die beantragten Leitungen jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht mit der zugrunde gelegten Nennlast betrieben, sondern im Normalfall mit einer Regellast von etwa 60% der Nennlast. Dementsprechend geringer sind auch die regelmäßig zu erwartenden auftretenden Magnetfelder. In einigen EU-Ländern werden andere Rahmenbedingungen zur Berechnung der Grenzwerte, wie z. B. der durchschnittliche Betriebsstrom, vorgeschrieben. Die genannten Werte sind daher international nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar.

Von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) wurden Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV [4] festgelegt. In dieser Richtlinie sind im Kapitel II.3.1 die Einwirkbereiche von Niederfrequenzanlagen und maßgebliche Immissionsorte beschrieben. Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind (siehe hierzu auch Kapitel II.3.2) und sich in folgendem genanntem Bereich einer Anlage befinden. Für Freileitungen gilt die Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leitern angrenzenden Streifens:

- 380-kV-Freileitungen 20 m
- 220-kV-Freileitungen 15 m
- 110-kV-Freileitungen 10 m
- Freileitungen mit Spannung kleiner 110 kV 5 m

Für Erdkabel wird ein Bereich im Radius um das Kabel von 1 m angegeben.

Die Werte der ermittelten elektrischen und magnetischen Felder beziehen sich auf eine Höhe von 1 m über EOK (Erdoberkante). Vorsorglich hat die Vorhabenträgerin zusätzlich die Werte in einer Höhe von 4 m über EOK berechnen lassen, wenn Gebäude mit bewohntem Obergeschoß im oben genannten Bereich der Leitung liegen. Die Koronageräusche am Objekt werden für eine Höhe von 2 m über EOK ermittelt.

Diese wurden hier exemplarisch mit betrachtet. Allerdings befinden sich aufgrund der sorgfältigen Trassenplanung keine Gebäude im unmittelbaren Nahbereich der Freileitung, sodass hier eigentlich keine Berechnungen auf Häuser oder Grundstücke erforderlich wären.

3.2. Lärmimmissionen

Die Zuordnung der Immissionsorte erfolgt gemäß den in der unten folgenden Tabelle 1 angegebenen Gebietseinstufungen nach Ziffer 6.1 TA Lärm. Liegen keine Bebauungspläne oder entsprechende Festsetzungen vor, so sind die Immissionsorte entsprechend tatsächlicher baulicher Nutzung und deren Schutzbedürftigkeit zu beurteilen.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, sind im Nachtzeitraum um niedrigere Immissionsrichtwerte einzuhalten bzw. bei Industriegebieten tags und nachts gleich hohe Immissionsrichtwerte. Da die durch den geplanten Betrieb der Freileitungstrasse verursachten Geräuschemissionen tagsüber und nachts gleichermaßen einwirken können, beschränkt sich die schalltechnische Untersuchung im Folgenden auf den Nachtzeitraum der TA Lärm.

Gebiet	Richtwert in dB(A) tagsüber / nachts
Industriegebiete	70 / 70
Gewerbegebiete	65 / 50
Kerngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete	60 / 45
Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	55 / 40
Reine Wohngebiete	50 / 35
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45 / 35

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte als Auszug aus der TA Lärm (Ziffer 6.1)

Die in Tabelle 1 genannten Immissionsrichtwerte gelten durch alle Geräuscheinwirkungen aus gewerblichen/industriellen Anlagen (Gesamtbelastung im Sinne der TA Lärm). Die Gesamtbelastung ergibt sich als energetische Summe aus der Vorbelastung sowie der Zusatzbelastung durch die zu beurteilende Anlage, hier also der geplanten Freileitungstrasse.

Im Sinne der Ziffer 3.2.1 Abs. 2 der TA Lärm kann auf eine detaillierte Vorbelastungsuntersuchung verzichtet werden, wenn die Zusatzbelastung um mindestens 6 dB(A) unter den Immissionsrichtwerten liegt und somit im Sinne des Textes der TA Lärm nicht relevant zum Gesamtpegel beiträgt (sog. Irrelevanzbetrachtung).

Im Zuge der schalltechnischen Untersuchung wird anhand der technischen Planungsunterlage und Begehungen vor Ort ermittelt, ob durch in der Nähe befindliche Anlagen im Sinne der TA Lärm eine relevante Vorbelastung im Nachtzeitraum zu erwarten ist.

Ebenso wird der am jeweiligen Immissionsort wirksame Geräuschpegel berechnet und geprüft, ob dieser um mindestens 6 dB(A) unter dem jeweiligen Nacht-Immissionsrichtwert liegt.

4. Ausgangssituation

4.1. Übersicht der verwendeten Unterlagen

Die technische Grundlage für die Immissionsbetrachtungen bilden die Lagepläne aus der Unterlage 4.1 dieser Genehmigungsunterlage.

Die Grundlage für die Unterlage 4.1 wiederum bildet die seilstatistische/leitungstechnische Berechnung aus der Software FIMS 3.2 der EQOS-Energie, aus welcher mittels Datenschnittstelle die Daten ebenfalls direkt in die Immissionsberechnungssoftware WinField der FGEU übernommen wurde. Somit wurden Eingabe und Übertragungsfehler durch händische Einarbeitung bei der Berechnungsgrundlage vermieden.

4.2. Technische Parameter

4.2.1. Parameter der geplanten 380-kV-Leitung

Spannung:	420 kV (Bemessungsspannung)
Stromstärke: (je Stromkreis)	4.000 A (UW RAIW-Mast 3N) / 2748 A (Mast 3N-4) (max. Betriebslast für 380-kV, zur Ausweisung im Planwerk und den Tabellen)
Stromrichtung:	in Richtung aufsteigender Mastnummer
Frequenz:	50 Hz
Phasenbelegung:	123 123 Phasenlage gemäß TenneT-Vorgaben, wie Bestandsleitung LH-07-B120

Es wurden keine Oberwellenanteile mit einem Vielfachen der Frequenz 50 Hz bei der Bewertung mit in Betracht gezogen, da diese keinen wesentlichen Einfluss ausüben.

Nach DIN EN 50160:2011-02 sollten unter normalen Betriebsbedingungen innerhalb eines beliebigen Wochenintervalls 95 % der 10-Minuten-Mittelwerte des Spannungseffektivwertes jeder einzelnen Oberschwingung kleiner oder gleich den in Tabelle 7 der DIN EN 50160:2011-02 hierfür genannten Anhaltswerten sein.

Die überwiegend zu erwartende Stromrichtung kann aus technischen Gründen bzw. den gegebenen Schwankungen in der Marktsituation nur schwer vorhergesagt werden. Als Worst Case wird daher hier die technische Leitungsrichtung, als Verlauf hin zur nächsthöheren Mastnummer als Stromrichtung angesetzt.

4.2.2. Parameter zu den vorgesehenen Leitern

Die geplante Freileitung verfügt, wie in Abbildung 1 in Kapitel 2.1 dargestellt, über 2 Systeme mit je 3 Phasen. Jede Phase wird ggf. als Leiterbündel mit Einzelseilen ausgebildet (4er-Bündel).

Als Leiter werden folgende Seile vorgesehen:

Leiter	Bezeichnung	Querschnitt	Durchmesser	Bündelleiter	Material
1 – 6 (UW-M3N)	565-AL1/72-ST1A	636,6 mm ²	32,85 mm	4er-Bündel	Stahlseele, Aluminiummantel
1 – 6 (M3N-M4)	264-AL1/34-ST1A	297,7 mm ²	22,40 mm	4er-Bündel	Stahlseele, Aluminiummantel

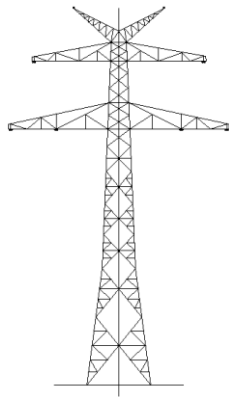
Tabelle 2: Leiterseilparameter

Die Anordnung der Leiter, einschließlich der Bemaßung, ist den Mastprinzipskizzen der Planfeststellungsunterlage in der Unterlage 6.1 zu entnehmen. Zusätzlich sind für die einzelnen Abschnitte auf den Profilplänen (Unterlage 7 der Planfeststellungsunterlage) die im Abschnitt jeweils verwendeten Masttypen als Mastskizze eingetragen.

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120

Zur Übersicht wird hier ebenfalls der Mastgestängentyp aus dem Erläuterungsbericht unter der Unterlage 1.1 (Kapitel 6.2.1.2) wiedergegeben, welche in diesem Leitungsabschnitt verwendet wird.



Donaumast als
Abspann-/Winkelmast

Abbildung 9: Mastbild des für den Neubau verwendeten Mast-/Gestängentyps (Quelle: EQOS Energie Deutschland GmbH)

Hinsichtlich der Geräuschimmissionen des jeweiligen Stromkreises wurde die schalltechnische Untersuchung abweichend von der Nennspannung (U_n) von 380-kV für den schalltechnisch ungünstigsten Betriebszustand mit der maximalen Spannung von 420kV durchgeführt.

4.2.3. Umgebungsbedingungen für elektrische und magnetische Felder

Die Topographie ist für den jeweiligen Bereich den Lageplänen (Unterlage 4.1) der hier vorliegenden Genehmigungsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren zu entnehmen. Die Topographie wurde, soweit sie zu berücksichtigenden Einfluss auf die zu erwartenden Feldstärken und Flussdichten hat, in der Berechnung berücksichtigt.

Sowohl Bebauung und Bewuchs sind für die Betrachtungsbereiche und speziell im aufgenommenen Schutzbereich der geplanten 380-kV-Leitung erhoben worden. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass weder die Bebauung noch der Bewuchs für die Ausbreitung der magnetischen Flussdichte eine maßgebliche Rolle spielt, da das Magnetfeld nahezu alle Stoffe ungehindert durchdringt (vgl. Kapitel 2.5). Die schirmende Wirkung des Bewuchses auf das elektrische Feld wird nicht berücksichtigt.

Somit ist als Worst Case angenommen, dass kein Bewuchs vorhanden sei, womit auch die Vegetationswechsel während der verschiedenen Jahreszeiten und jederzeit mögliche Veränderungen des Bewuchses (z.B. Abholzung und Knicken) nicht zu Fehlinterpretationen führen.

4.2.4. Umgebungsbedingungen zur Schallausbreitung

In der Software „WinField & Sound (WinField / EFC-400)“ wird die Schallausbreitung gemäß der DIN ISO 9613-2 berechnet. Dies beinhaltet in Wesentlichen folgende Parameter:

4.2.4.1. Abschirmung / Reflexion

Generell werden keine abschirmenden Hindernisse oder schallabsorbierenden Elemente im Ausbreitungsweg zwischen der geplanten Freileitung und dem zu betrachtenden Immissionsort angenommen („worst case“-Annahme).

4.2.4.2. Luftabsorption

Für die Berechnung galt die Annahme einer Lufttemperatur von 10°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90%.

4.2.4.3. Bodeneffekt

Es wird das in der DIN ISO 9613-2 unter Abschnitt 7.3.2 beschriebene „alternative Verfahren“, welches gängiger Praxis entspricht, angewendet. Dies bedingt keine konkrete Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit im Ausbreitungsweg des Schalls.

4.2.4.4. Meteorologische Korrektur

Gemäß TA Lärm ist der äquivalente A-bewertete Langzeit-Mittelungspegel L_{AT} (LT) im langfristigen Mittel zu bestimmen. Auch ist die meteorologische Korrektur C_{met} (Ziffer A.1.4; Anhang zur TA Lärm) nach Ziffer 8 der Norm DIN ISO 9613-2 zu berücksichtigen. Hierbei ist gemäß örtlicher Wetterstatistiken (Lieferung durch den DWD) und deren Analysen ein Faktor C_0 zu bestimmen und heranzuziehen.

Da dies auf die gesamte Leitungslänge relativ impraktikabel erscheint, wird ein pauschaler Wert für den Faktor C_0 von 0 dB angesetzt und somit die Berechnung für eine ausbreitungsgünstige Witterungssituation durchgeführt.

5. Kartografische Darstellung

5.1. Übersicht der technischen Unterlagen

Die technische Grundlage, welche auch als Grundlage für die Immissionsbetrachtungen dient, umfasst im Wesentlichen folgende Unterlagenteile in der Planfeststellungunterlage:

- Unterlage 1, Erläuterungsbericht
Beschreibung des Bauvorhabens, hier im Speziellen Kapitel 9 zu den Immissionen
- Unterlage 2.1, Übersichtsplan
Darstellung des Trassenverlaufs im Maßstab 1:25.000
- Unterlage 4.1, Lagepläne
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000
- Unterlage 6.1, Mastprinzipzeichnungen
Darstellung der verwendeten Masttypen und deren Abmessungen
- Unterlage 7.1, Profilpläne
Querschnitt/Geländeschnitte der einzelnen Leitungsabschnitte im Maßstab 1:500/2.000

5.2. Übersicht der immissionsrechtlichen Unterlagen

Auf Basis der technischen Unterlagen, werden im Zuge der Immissionsbetrachtung folgende Unterlagenteile erstellt. Eine Übersicht stellt das Inhaltsverzeichnis dieses Materialbandkapitels M08 dar. Speziell zur Berechnung der EMF können jedoch folgende in die Planfeststellungunterlage eingestellten Unterlagenteile genannt werden:

- Unterlage 9.1.3, EMF-Planwerk: B-Feld (Magnetische Flussdichte B)
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 auf Grundlage der Lagepläne und Eintragung der berechneten Isolinien der magnetischen Flussdichte sowie der zu betrachtenden Immissionsorte
- Unterlage 9.1.4, EMF-Planwerk: E-Feld (Elektrischen Feldstärke E)
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 auf Grundlage der Lagepläne und Eintragung der berechneten Isolinien der elektrischen Felder sowie der zu betrachtenden Immissionsorte
- Unterlage 9.1.5, Lagepläne Lärm: Isophonenkarten
Darstellung der Leitungsabschnitte im Maßstab 1:2.000 auf Grundlage der Lagepläne und Eintragung der berechneten Isolinien der Schallausbreitung durch den prognostizierten Betriebslärm sowie der zu betrachtenden Immissionsorte

6. Ermittlung der Immissionen

Zur Ermittlung der Immissionen wurden Berechnungen komplett entlang des geplanten Leitungsverlaufes durchgeführt.

Im Folgenden sind Angaben zur verwendeten Software, Geodaten sowie weitere für Ermittlung und Berechnung wichtige Informationen aufgeführt.

6.1. Verwendete Software

- Produktname: WinField / EFC-400 – Electric and Magnetic Field Calculation
- Hersteller: FGEU mbH, Yorckstraße 60, 10965 Berlin
- Version: V2024 (01.01.2024)
- Unsicherheit: maximal 1,4 %

Weitere Informationen zur Software, sowie die Herstellerzertifikate sind der Unterlage 9.1.2 und den Anhängen zu diesem Bericht zu entnehmen.

6.2. Verwendete Geodaten

- Datenquelle: Airborne-Laserscanning (Befliegung im Jahr 2023 durch MILAN)
- Auflösung: mind. 16 reale Messpunkte/m²
- Genauigkeiten: < +/- 0,10 cm (singulärer Lasermesswert)
- Bezugssystem: ETRS89 (UTM / GRS80)

6.3. Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte

Die Einordnung als maßgebliche Immissionsorte erfolgte nach Ziffer II.3.1 und II.3.2 der LAI-Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder. Zur Einordnung der Orte als maßgebliche Minimierungsorte wurden §4(1) der 26. BImSchV, 2.11 und 3.2.1.2 der 26. BImSchVVwV berücksichtigt.

In einer ersten pauschalierten Betrachtung konnte bereits im Zuge der Variantenfindung eine deutliche Annäherung an Wohnbebauung vermieden werden und durch die bestehende und zu ersetzende Freileitung bereits überspannte Wohnannäherungsbereiche mit der neuen Planung freigeräumt oder aber zumindest eine maßgebliche Verbesserung erreicht werden. Obwohl durch die aus der Abwägung ergehende Vorzugsvariante nunmehr keine Planungshindernisse für eine Trassierung vorliegen und weitergehende Betrachtungen prinzipiell nicht erforderlich wären, wird der Gesamtkorridor gemäß des nach 26. BImSchVVwV vorgegebenen Einwirkbereichs von 400 m hin untersucht.

6.4. Bewertungsabstand und Einwirkbereich

Die maßgeblichen Immissionsorte wurden innerhalb der in II.3.1 der LAI-Durchführungshinweise angegebenen Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens von hier 20 Metern ermittelt.

Die maßgeblichen Minimierungsorte wurden innerhalb der in der 26. BImSchVVwV festgelegten Einwirkbereiche von hier 400 Metern ermittelt. Die in der 26. BImSchVVwV festgelegten Bewertungsabstände von hier 20 Metern wurden ebenfalls beachtet.

6.5. Maßgebliche Immissions- und Minimierungsorte

Die Klassifizierung der Immissionsorte erfolgte über das ATKIS, sowie einer vor-Ort-Betrachtung über die reale bzw. eine ggf. abweichende Nutzungsart.

Bei dem Ersatzneubau vom neuen Umspannwerk (UW) Raitersaich_West bis Mast 4 der 380-kV-Ltg. Raitersaich – Cadolzburg, LH-07-B120 liegen keine maßgebliche Minimierungsorte (MMO) vor. Das nächstliegende Gebäude, welches zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist, befindet sich (Gemarkung Buchschwabach, Flurstück 1082) in einem Abstand von 420 m zum ruhenden äußeren Leiterseil und damit außerhalb des Einwirkbereiches. Eine Minimierungsprüfung wird daher nicht durchgeführt.

6.6. Ermittlung der maßgeblichen Immissions- und Minimierungsorte für die Provisorien

Da die Leitung während der Bauphase aus versorgungstechnischen Gründen grundsätzlich in Betrieb bleiben muss, sind zusätzliche technische Einrichtungen (Provisorien) zur Aufrechterhaltung des Leitungsbetriebs erforderlich. Eine mögliche Maßnahme ist die Errichtung von Freileitungsprovisorien. Diese werden i. d. R. auf Hilfgestängen errichtet und können Abschnitte einer bestehenden Leitung durch eine provisorische Leitung ersetzen, sodass der im Arbeitsbereich der neuen Leitung befindliche Abschnitt abgeschaltet werden kann. Bei Provisorien handelt es sich um zeitlich begrenzte (temporäre) Einrichtungen. Die Lage der Freileitungsprovisorien wird durch einen Korridor eingegrenzt, welcher in den Lage- und Rechtserwerbsplänen (siehe Unterlage 4.1) dargestellt wird. Innerhalb dieses Korridors werden im Zuge der Ausführungsplanung die Freileitungsprovisorien geplant.

Bei dem Freileitungsprovisorium befindet sich das nächstliegende Gebäude, welches zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist, in einem Abstand von 300 m (Gemarkung Fernabrünst, Flurstück 293) zum äußersten Rand des Provisoriumkorridor.

Das Minimierungspotential der Provisoriumsleitung ist aufgrund ihrer Konstruktion begrenzt. Die besonderen konstruktiven Anforderungen ermöglichen nicht, dass eine elektrische Schirmung bzw. eine Optimierung der Leiteranordnung erfolgen. Aufgrund der limitierten Standzeit sind weitere Minimierungsmaßnahmen unverhältnismäßig.

Um auch für die Provisorien die maßgeblichen Immissionsorte zu ermitteln, d.h. Orte des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts, die sich innerhalb eines Abstandes von 20 m bei 380-kV Provisorien vom äußeren Leiterseil des Provisoriums befinden, wurden die Korridore mit Hilfe von Luftbildern abgesucht. Dabei wurden innerhalb eines Abstands von 20 m zum äußersten Rand des Provisoriumkorridor keine maßgeblichen Immissionsorte identifiziert.

6.7. Oberwellenanteile

Nach 26. BImSchV §3 müssen alle Immission einer Niederfrequenzanlage berücksichtigt werden. Dies schließt auch Oberwellenanteile (z.B. 150 Hz, 250 Hz) mit ein, wie sie z.B. durch Schaltnetzteile oder Wechselrichter erzeugt werden.

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 angegeben, ergeben sich hierdurch keine zu berücksichtigenden Anlagenteile.

7. Ergebnisse

Dieser Abschnitt ist entsprechend der einzelnen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder aufgebaut. Zunächst werden die Ergebnisse im Hinblick auf die einzuhaltenden Grenzwerte dargelegt (§§ 3 Abs. 2, 3a Satz 1 Nr. 1 26. BImSchV i.V.m. Anhang 1a 26. BImSchV). Hierbei werden auch Aussagen zu Immissionsbeiträgen zu berücksichtigender anderer Anlagen getroffen (§§ 3 Abs. 3, 3a Satz 2 26. BImSchV i.V.m. Anhang 2a 26. BImSchV). Es folgen Aussagen zur Beachtung des Überspannungsverbots (§ 4 Abs. 3 26. BImSchV), zur Beachtung des Gebots zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden (§§ 3 Abs. 4, 3a Satz 1 Nr. 2 26. BImSchV) und zu Raumladungswolken. Danach werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Beachtung des Minimierungsgebots dargelegt (§ 4 Abs. 2 26. BImSchV i.V.m. 26. BImSchVVwV).

7.7. Grenzwerteinhaltung

Direkt unterhalb der Freileitung mit der voraussichtlich stärksten Exposition werden die Grenzwerte eingehalten.

In der tabellarischen Aufstellung des Kapitels 7.6 sind alle Immissionswerte mit der voraussichtlich stärksten Exposition und die hierfür ermittelten Feldstärken aufgeführt. Immissionsbeiträge anderer Anlagen wurden mit berücksichtigt.

Dadurch ist die Genehmigungsfähigkeit der Anlage hergestellt.

Die Grenzwertbedingungen der Summenbetrachtung von Immissionsbeiträgen nach § 3 Abs. 3 gemäß Anhang 2a 26. BImSchV und Ziffer II.3.4 LAI sind erfüllt bzw. eingehalten. An allen übrigen maßgeblichen Immissionsorten werden die Grenzwerte ebenfalls eingehalten (Erst-Recht-Schluss).

7.8. Überspannungsverbot

Das Überspannungsverbot für in neuer Trasse errichtete Niederfrequenzleitungen mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Nennspannung von 220 kV oder mehr (§ 4 Abs. 3 26. BImSchV) wird erfüllt.

Das nächstliegende Gebäude, welches zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist, befindet sich (Gemarkung Buchschwabach, Flurstück 1082) in einem Abstand von 420 m zum ruhenden äußeren Leiterseil. Eine Überspannung ist hier in jedem Fall auszuschließen, sodass das Überspannungsverbot eingehalten wird.

7.9. Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden

Wirkungen wie Funkenentladungen auch zwischen Personen und leitfähigen Objekten, die zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können (§§ 3 Abs. 4, 3a Satz 1 Nr. 2 26. BImSchV), werden vermieden.

Die Vermeidung von direkten Einwirkungen des elektrischen Stromes oder der Netzspannung auf Menschen (z. B. Körperdurchströmungen) wird durch die Einhaltung der gültigen Vorschriften für Bau und Betrieb einer elektrischen Anlage gewährleistet (z. B. deutsche DIN VDE Vorschriften, europäischen EN-Vorschriften). Durch die Einhaltung dieser Vorschriften werden Abstandsbereiche geschaffen, durch welche unbefugte und nicht elektrotechnisch unterwiesene Personen nicht in den Gefahrenbereich einer solchen Anlage gelangen können. Alle Anlagen der Tennet TSO GmbH weisen diese normkonformen Abstandsbereiche aus, so dass Schäden durch direkte Einwirkungen auf Menschen sicher ausgeschlossen werden können.

Belästigungen können durch indirekte Einwirkungen elektrischer und/oder magnetischer Felder erfolgen. Hierunter versteht man Funkenentladungen bzw. Elektrisiereffekte, welche unter bestimmten Bedingungen zwischen elektrischer Anlage und Menschen entstehen können. Bei der hier zur Planfeststellung anstehenden 380-kV-Leitung ist allerdings die hierfür ursächliche elektrische Feldstärke an Orten, wo sich Menschen bestimmungsgemäß aufhalten können, weit unterhalb jener Feldstärke, wo solche Effekte auftreten können. Die elektrische Feldstärke ist direkt unterhalb der Freileitung unter dem gesetzlichen Grenz-/Richtwert von 5 kV/m (siehe hierzu tabellarische Aufstellung in Kapitel 7.6). Meist ist die elektrische Feldstärke wesentlich kleiner. Für die Entstehung von Funkentladungen bzw. Elektrisiereffekten sind deutlich höhere elektrische Feldstärken notwendig.

7.10. Raumentladungswolken

Raumentladungswolken sind die Folge von Korona (Teilentladungen zwischen spannungsführendem Leiterseil einer Freileitung und der das Leiterseil umgebenden, isolierenden Luft). Korona, also das Entstehen von Teilentladungen, bedingt eine hohe elektrische Randfeldstärke direkt am spannungsführenden Leiterseil (ab ca. 30 kV/cm). Da die Randfeldstärke bei der zur Genehmigung hier vorliegenden Leitung kleiner ist, treten derartige Koronaerscheinungen bei der Anlage nicht in dem erforderlichen Maße auf. Insofern bilden sich auch keine Raumentladungswolken. Wo keine Raumentladungswolken existieren, also keine ionisierte Luft, kann folglich auch keine Aerosolbildung entstehen.

7.11. Minimierungsgebot

Das Minimierungsgebot für neu errichtete oder wesentlich geänderte Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen (§ 4 Abs. 2 26. BImSchV i.V.m. 26. BImSchVVwV) wird beachtet und wurde bereits im Zuge der Variantenbewertung (vgl. Unterlage 1.2 zum Erläuterungsbericht in Unterlage 1.1 der Planfeststellungsunterlage) berücksichtigt. Die wesentlichen in der Variantenbewertung angewendeten Maßnahmen zur Minimierung wurden auch in den obigen Kapitel 2.6 bis 2.9 dieses Berichtes kurz genannt.

7.12. Darstellung der Berechnungsergebnisse

Wie in obigen Kapiteln bereits genannt, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in grafischer Form in den Plänen der Unterlage 9.1.3 – 9.1.5. Gemäß Kapitel 2.9 dieses Berichtes liegen keine maßgebliche Minimierungsorte (MMO) vor. Daher wurden die Berechnungen in ein Meter über Boden unterhalb der äußeren rechten und linken Leiterseile, sowie in der Mitte der Freileitung für alle Spannungsfelder vorgenommen.

Bei den Flächen unterhalb der Freileitung handelt es sich um landwirtschaftliche Nutzflächen und Waldschneisen, sodass es sich um Orte handelt, die nur zum vorübergehenden Aufenthalt bestimmt sind. Die Grundstücke werden daher nachfolgend nicht als maßgebliche Minimierungsorte betrachtet.

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle ersichtlich:

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120



Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West 380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120									
Abschnitt	B-Feld [uT] (Boden +1m) [4000A]			E-Feld [kV/m] (Boden +1m) [4000A]			Lärm [dB (A)] (Boden +1m) [4000A]		
	Links	Mitte	Recht	Links	Mitte	Recht	Links	Mitte	Recht
C21/C23 - 1AN	24,25	6.18	19.27	2.83	1.59	2.25	40	40	39
1AN - 1N	18.51	16.58	16.25	1.88	1.91	1.74	37	37	36
1N - 2N	23.12	23.04	26.71	2.39	2.73	2.78	39	40	40
2N - 3N	19.02	18.81	19.62	1.93	2.18	2.08	38	38	38
	B-Feld [uT] (Boden +1m) [2748A]			E-Feld [kV/m] (Boden +1m) [2748A]			Lärm [dB (A)] (Boden +1m) [2748A]		
	Links	Mitte	Recht	Links	Mitte	Recht	Links	Mitte	Recht
3N - 4	14.15	10.28	15.52	2.33	2.32	2.62	47	47	47

Tabelle 3: Berechnung der Immissionswerte direkt unterhalb der Freileitung

8. Qualität

8.7. Bestätigung der Richtigkeit aller Angaben

Hiermit wird die Richtigkeit aller Angaben bestätigt. Die Versionsnummer und für die Bearbeitung beteiligte und verantwortliche Personen ergeben aus dem Kapitel 1.1.

8.8. Angaben zu Berechnungsunsicherheiten

In der folgenden Tabelle sind alle Unsicherheiten aufgeführt. Die Unsicherheiten in der Berechnung und den Geo- und Anlagendaten liegen als Gesamtunsicherheit bei maximal 5%.

Häufige Fehlerquellen durch Datenübertragungen aus/in verschiedene Softwareprodukte sind durch eine konsequente Bearbeitung der trassierungstechnischen Grunddaten und der Berechnungsdaten in nur zwei Softwareprodukten und den gegebenen direkten Datenaustausch unter den Softwareprodukten weitestgehend ausgeschlossen.

Die Datenübertragung erfolgte hierbei durch eine direkte Schnittstellenanbindung, wodurch die komplette Freileitungstrasse aus der trassierungstechnischen Software exportiert und in die Software „WinField & Sound (WinField / EFC-400)“ importiert wurde. Hierdurch wird gewährleistet, dass die anzunehmenden technischen Parameter vollumfänglich und qualitätsgesichert in die Lärmimmissionsberechnung einfließen (Leitungsgeometrie und Leiterseildefinitionen).

Unterlage 9.1.1

Ersatzneubau 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West
380-kV-Ltg. Raitersaich - Cadolzburg, LH-07-B120



Softwareprodukt	Bearbeitung	Unsicherheit
FIMS 3.2	• Grunddatenimport • Auswertung der Laserdaten • Leitungstrassierung • Schnittstelle nach WinField	• < +/- 10 cm aus der Befliegung • Keine • Keine • Keine
WinField	• Eingabe Anlagedaten • Berechnung der Immissionen • Berechnung Lärmimmissionen • Export der Ergebnisse in das Planwerk	• Maximal 3 % • Maximal 1,4 % • +/-1 dB(A) • Keine
Gesamtunsicherheit		Maximal 5 %

Tabelle 4: Zusammenstellung der Unsicherheiten

Die Ergebnisse sind wie jedwede Art von Berechnungen und Prognosen natürlichen Schwankungen und Toleranzen unterworfen.

In der Berechnung selbst sind alle zur Verfügung stehenden Parameter eingearbeitet worden, um eine höchstmögliche Genauigkeit zu erreichen.

Hierzu wird auch auf das Herstellerzertifikat für die verwendete Software „WinField & Sound (WinField / EFC-400)“ im Anhang zu diesem Bericht (Unterlage 9.1.1 der Planfeststellungsunterlage) verwiesen.

8.9. Schwierigkeiten in der Erstellung der Untersuchung

Bei der Berechnung der Immissionen konnten alle Daten zur Erstellung einer aussagekräftigen Berechnung ermittelt werden. Es mussten keine Ersatzwerte anhand vergleichbarer Anlagen bestimmt werden, wodurch in der Immissionsbewertung keine zusätzlichen Faktoren als Sicherheitsmarge berücksichtigt werden müssen.

9. Fazit der Bewertung

In dieser Untersuchung wurden die zu erwartenden Immissionen durch elektrische und magnetische Felder, sowie des Betriebslärms im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für das hier vorliegende Vorhaben ermittelt.

Es wurde dargelegt, dass alle maßgeblichen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben für elektrische und magnetische Felder, einschließlich zu berücksichtigender Unsicherheiten, eingehalten werden. An allen maßgeblichen Immissionsorten werden die Grenzwerte eingehalten. Die sonstigen immissionsschutzrechtlichen Vorgaben, also das Überspannungsverbot, das Gebot zur Vermeidung erheblicher Belästigungen oder Schäden und das Minimierungsgebot, werden beachtet.

Die geplanten 380-kV-Leitungsanlagen verlaufen überwiegend im ländlich geprägten Raum, ohne nennenswerte Bebauungen.

Insgesamt ist für die zu betrachteten Bebauungen im Einwirkungsbereich der geplanten Freileitung festzustellen, dass die Abstände zur Freileitung ausreichend groß genug sind, um die Immissionsrichtwerte gemäß TA Lärm einzuhalten zu können.

Dies gilt unter Berücksichtigung eines für den Nachtzeitraum anzunehmenden Immissionsrichtwert an den betreffenden Immissionsorten in Verbindung mit einer Immissionsrichtwertunterschreitung von mehr als 6 dB(A) (Irrelevanzbetrachtung).

10. Ergebnis / Zusammenfassung

Nach Beurteilung der vorliegenden Unterlagen für die geplante Errichtung und den Betrieb des Ersatzneubaus der 380-kV Leitungseinführung UW Raitersaich_West, 380-kV-Ltg. Raitersaich - Cardolzburg (LH-07-B120) durch den ordnungsmäßigen Betrieb gemäß der Errichtung nach Planung

- Keine schädliche Immission durch magnetische Felder
- Keine schädliche Immission durch elektrische Felder
- Keine schädliche Umweltauswirkung durch Lärm erkennbar, sowie
- Entsprechende Vorsorge gegen schädliche Umweltauswirkungen durch geeignete technische Maßnahmen zur Reduktion der Immissionen (optimierte Phasenordnung, Erhöhung des Seildurchmessers, Mehrfachbündelleiter, ggf. für die Leitung auf dem Markt vorhandene Einbauteile zur Lärmreduktion) gemäß Stand der Technik umgesetzt.

Auf das Aufzeigen einzelner Berechnungen wird hier verzichtet, da die Gesamtanlage der Freileitung berechnet und durch die Gesamtunterlagen der Immissionsberechnung verdeutlicht dargestellt sind.

11. Glossar

Selbst wenn in einzelnen Themenbereichen der Planfeststellungsunterlage bereits beschrieben, erfolgt hier ggf. erneut die Beschreibung der wesentlichen Fachbegriffe.

A	Ampere (elektrischer Strom)
Abspannabschnitt	Leitungsabschnitt zwischen zwei Winkelabspannmasten (WA) bzw. Winkellendmasten (WE)
Abspannmast	An Abspann- bzw. Endmasten werden die Leiter an Abspannketten befestigt, die die resultierenden bzw. einseitigen Leiterzugkräfte auf den Stützpunkt übertragen und damit Festpunkte in der Leitung bilden
Betriebsmittel	allgemeine Bezeichnung von betrieblichen Einrichtungen in einem Netz
BImSchG	Bundes-Immissions-Schutz-Gesetz
BImSchV	Bundes-Immissions-Schutz-Verordnung
BImSchVVwV	Allgemeine Verwaltungsverordnung zur Durchführung der BImSchV
Bündelleiter	Leiter, der aus mehreren Teilleitern besteht
dB(A)	Geräuschpegel A - bewertet
Drehstromsystem	ein aus drei gleich großen um 120° verschobenen Spannungen und Strömen gebildetes Wechselstromsystem
EMF	Elektrische und magnetische Felder
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EOK	Erdoberkante
Freileitung	Je nach Funktion der Maste unterscheidet man zwischen Trag- und Abspannmasten. Drehstromsysteme sind stets Dreileitersysteme. Als Isolatoren werden Hängeisolatoren verwendet, als Maste meistens Stahlfachwerkmaste (Gittermaste). Ein Erdseil wird für den Blitzschutz verwendet. Die Praxis einer nachträglichen Installation einzelner Stromkreise ist weit verbreitet.
Gestänge	Fachbegriff für Tragwerk
Hochspannung	Spannungsbereich von 60 bis 110kV
Höchstspannung	Spannungsbereich von 220kV und höher
ICNIRP	Internationale Strahlenschutzkommission für nicht ionisierende Strahlung
Koronaentladung	Teildurchschläge in der Luftisolierung bei Freileitungen
Leiterseil	seilförmiger Leiter
Netz	System von zusammenhängenden Einrichtungen (Leitungen, Umspannwerke) zur Übertragung von elektrischer Energie
Querträger	seitliche Ausleger (Traverse) an einem Mast zur Befestigung der Leiter
Spannfeld	Leitungsbereich zwischen zwei Masten
Stromkreis	Einzelne elektrische Verbindung zweier Umspannwerke, baulich bestehend aus einem System einer Leitung und Schaltfeldern in den Umspannwerken
System	Drei zusammengehörige voneinander und der Umgebung isolierte Leiter zur Übertragung von Drehstrom
µT	Mikrotesla (1/1.000.000 Tesla), Einheit der magnetischen Flussdichte
Tragmast	Tragmaste tragen die Leiter (Tragketten) bei geradem Verlauf. Sie übernehmen im Normalbetrieb keine Zugkräfte
TA Lärm	Technische Anleitung Lärm
Traverse	siehe Querträger
Umspannwerk	Hochspannungsanlage mit Transformatoren zum Verbinden von Netzen verschiedener Spannungen
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UW	Umspannwerk

V	Volt (Einheit der elektrischen Spannung)
kV	Kilovolt (1.000V)
kV/m	Einheit der elektrischen Feldstärke
VA	Voltampere (Einheit der Blind- oder Scheinleistung)
MVA	Megavoltampere (1.000.000VA), Einheit für Schein- und Blindleistung
2-systemig	Leitung mit zwei Drehstromsystemen zu je drei Leitern

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau/Beseilung eines Freileitungsmastes (Donaumast) (Quelle: TenneT TSO GmbH)	6
Abbildung 2: Darstellung eines magnetischen Feldes unter einer 380-kV-Leitung (mit Donaumasten) (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	8
Abbildung 3: Ausbreitung des magnetischen Feldes unter einer 380-kV-Leitung (mit Donaumasten) (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	8
Abbildung 4: schematische Darstellung möglicher Phasenlagen an unterschiedlichen Masttypen	10
Abbildung 5: Darstellung der Immissionen zum E-Feld bei ungünstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	11
Abbildung 6: Darstellung der Immissionen zum E-Feld bei günstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	11
Abbildung 7: Darstellung der Immissionen zum B-Feld bei ungünstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	12
Abbildung 8: Darstellung der Immissionen zum B-Feld bei günstigster Phasenlage an unterschiedlichen Masttypen (Quelle: TenneT TSO GmbH).....	12
Abbildung 9: Mastbild des für den Neubau verwendeten Mast-/Gestängetyps (Quelle: EQOS Energie Deutschland GmbH)	20

13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte als Auszug aus der TA Lärm (Ziffer 6.1)	18
Tabelle 2: Leiterseilparameter	19
Tabelle 3: Berechnung der Immissionswerte direkt unterhalb der Freileitung	27
Tabelle 4: Zusammenstellung der Unsicherheiten	28

Anhang

Anhang 1	Herstellerzertifikate zur Software WinField / EFC-400 zum B-Feld und E-Feld
Anhang 2	Herstellerzertifikate zur Software WinField / EFC-400 zur Schallausbreitung

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:	1.1.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	1.1.2024	VERSION:	>= V2024

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.

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

unabhängiger Sachverständiger für "Elektromagnetische Umweltverträglichkeit - EMV"



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

Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH

Manufacturer Certificate

(Precision of the field, power density and acoustic noise level calculation)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	1.1.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	1.1.2024	VERSION:	>= V2024

The software is in compliance with DIN EN 50413 with calculation precision:

The error of field calculation for straight conductors during using the software as agreed without the consideration of disturbing influences by buildings, natural cover or ferromagnetic materials e.g. is 0.00001% for the magnetic flux density and 0.0001% for the electric field strength. The error of field calculation for straight transmitter without the consideration of disturbing influences is 0.0001% in the far field. Using radiation pattern the gain is calculated with 1% accuracy from the pattern by integration. When segmented elements such as circular or helical structures are used the geometric error increases according to the error documentation in the appendix of the user's manual. The calculation error of the magnetic flux density, the magnetic and electric field strength, the power density and the acoustic noise level with the predefined standard setting, for the considered cases provided in the software's documentation without consideration of disturbing influence, is:

Maximum calculation error = 1.4%

Neglecting the disturbing influences by buildings, natural cover or ferromagnetic materials is insignificant for the substantial distances of personal security, since the calculation in this case corresponds to the conservative attempt granted by the 26th BImSchV particularly and represents the 'worst-case'.

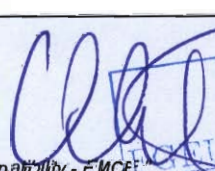
Special features:

For the user-defined construction of objects the error can be smaller or larger according to the error documentation in the appendix of the user's manual. A geometric error of size x% at input of geometric dimensions and positions particularly affects an error of size 2x% in the field calculation, because of physical laws. In principle, this is valid also for measuring the field strengths at a reference object, if so-called identically build objects have geometric deviations such as differing in positions or wall thicknesses.

In principle, a comparability with measurements at objects is given only conditionally, since standard-compliant measurement procedures integrate the field strengths over an area of 100 cm², through what a raise of the field strengths by up to 78% can already be given, instead of selective point measuring or calculation.

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

independent expert for "Electromagnetic ambient Environment Compatibility - EMCE"


Forschungsgesellschaft
für Energie
und Umwelttechnologie GmbH
Yorckstr. 60, D-91074 Bamberg, Tel 786 97 99, Fax 786 63 89

**Forschungsgesellschaft für Energie und
Umwelttechnologie - FGEU mbH****Hersteller Zertifikat**

Declaration of Conformity (DoC)

(Genauigkeit der Berechnung der Schallausbreitung für Koronageräusche)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	01.01.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	01.01.2024	VERSION:	>= V2024

Die Norm DIN 45687 „Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen“ (Ausgabedatum: 2006-05) fordert vom Programm-Hersteller, neben der Konformitätserklärung, die Abgabe eines Prüfprotokolls.

In ISO/TR 17534-3:2015 „Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1“ werden Testaufgaben für DIN ISO 9613-2 formuliert.

Prüfprotokoll:

Das Protokoll enthält als Anlage eine Aufstellung der geprüften normativen Testaufgaben. Da die Software WinField / EFC-400 Schallpegel als reine Freiraumausbreitung berechnet, ohne Reflexion oder Störung durch Hindernisse (i.d.R. entspricht dies dem ‚worst-case‘), können nur die Testfälle T01 bis T07 geprüft werden. Für diese folgt:

maximale Abweichung der Berechnung für die Testfälle T01-T07 = **± 0.02 dB**

Formelle Konformitätserklärung:

Wir erklären hiermit, dass die korrekte Berechnung der normativen Testaufgaben T01-T07 mit der oben genannten WinField- / EFC-400-Version für Koronageräusche zur Umsetzung der Anforderungen an die Qualitätssicherung nach DIN 45687 und ISO 17534 geprüft wurde.

FGEU mbH, Yorckstr. 60, D-10965 Berlin

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

Geschäftsführender Gesellschafter, unabhängiger Sachverständiger für „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit - EMV/U“


**Forschungsgesellschaft
für Energie
und Umwelttechnologie GmbH**
Tel 786 97 99, Fax 786 63 89
Yorckstr. 60, D-10965 Berlin**Anlage: Normative Testaufgaben für WinField / EFC-400**

Bereich	Berechnungsvorschrift	Herkunft (Land)	Anzahl Testdateien
Industrie	DIN ISO 9613	-	7 (T01-T07)
Summe:			7

Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH

Manufacturer Certificate

Declaration of Conformity (DoC)

(Precision of sound propagation calculation for corona noise)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	01.01.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	01.01.2024	VERSION:	>= V2024

The norm DIN 45687 "Acoustics - Software products for the calculation of the sound propagation outdoors - Quality requirements and test conditions" (Issue date: 2006-05) demands software manufacturer to deliver a test protocol besides the Declaration of Conformity.

In ISO/TR 17534-3:2015 "Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1", test cases for DIN ISO 9613-2 are given.

Test protocol:

The protocol includes a list of checked normative test cases as an attachment. Since the software WinField / EFC-400 calculates noise level as a pure free-space propagation without reflection or interference by obstacles (this in general corresponds to the "worst-case"), only the test cases T01 to T07 can be checked. For these follows:

maximum deviation of calculation for the test cases T01-T07 = ± 0.02 dB

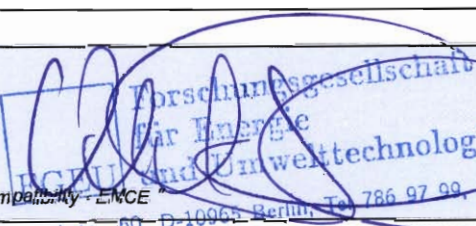
Formal Declaration of Conformity:

We hereby explain that the correct calculation of the normative test cases T01-T07 for implementation of the requirements on quality assurance according to DIN 45687 and ISO 17534 with the above-named WinField- / EFC-400-version for corona noise was checked.

FGEU mbH, Yorckstr. 60, D-10965 Berlin

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

CEO, independent expert for "Electromagnetic ambient Environment Compatibility - EMCE"


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

Attachment: Normative test cases for WinField / EFC-400

Sector	Calculation regulation	Origin (Country)	Number of test files
Industry	DIN ISO 9613	-	7 (T01-T07)
Total:			7

Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH

Hersteller Zertifikat

Declaration of Conformity (DoC)

(Genauigkeit der Randfeldstärke- und Schallleistungspegel-Berechnung für Koronageräusche)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	01.01.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	01.01.2024	VERSION:	>= V2024

Die Berechnung der elektrischen Randfeldstärke erfolgt nach der physikalischen Theorie wie in „Bauhofer: Handbuch für Hochspannungsleitungen, 1994, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, ISBN 3-9014-1100-3“ explizit dargestellt. Die Schallleistungspegel-Berechnung entspricht den Formeln der EPRI Veröffentlichung „Electric Power Research Institute: Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above, Second Edition, 1982, Palo Alto“.

Prüfprotokoll:

Das Protokoll enthält als Anlage eine Aufstellung der geprüften internen Testaufgaben. Für diese folgt:

max. Abweichung der Randfeldstärke für die Testfälle T01-T04 = $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$
max. Abweichung des Schallleistungspegels nach EPRI für die Testfälle T03-T04 = $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ dB

Formelle Konformitätserklärung:

Wir erklären hiermit, dass die korrekte Berechnung der internen Testaufgaben T01-T04 mit der oben genannten WinField- / EFC-400-Version für Koronageräusche zur Umsetzung der Anforderungen an die Qualitätssicherung nach physikalischer Theorie und EPRI geprüft wurde.

FGEU mbH, Yorckstr. 60, D-10965 Berlin

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

Geschäftsführender Gesellschafter, unabhängiger Sachverständiger für „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit“ (EMVU)

Yorckstr. 60, D-10965 Berlin, Tel 786 97 99, Fax 786 63 89

Anlage: Interne Testaufgaben für WinField / EFC-400 für elektrische Randfeldstärke

Bereich	Berechnungsvorschrift	Herkunft (Land)	Anzahl Testdateien
Industrie	Physical Theory + EPRI Publication	-	4 (T01-T04)
Summe:			4

Anlage: Interne Testaufgaben für WinField / EFC-400 für Schallleistungspegel nach EPRI

Bereich	Berechnungsvorschrift	Herkunft (Land)	Anzahl Testdateien
Industrie	Physical Theory + EPRI Publication	-	2 (T03-T04)
Summe:			2

Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH

Manufacturer Certificate

Declaration of Conformity (DoC)

(Precision of surface field strength and sound power level calculation for corona noise)

WinField / EFC-400 - Electric and Magnetic Field Calculation

ISSUER:	FGEU mbH	SERIAL NUMBER:	*****
PRODUCT NAME:	WinField / EFC-400	ISSUE DATE:	01.01.2024
PRODUCT RELEASE DATE:	01.01.2024	VERSION:	>= V2024

The calculation of the electric surface field strength is carried out after the physical theory as explicitly described in "Bauhofer: Handbuch für Hochspannungsleitungen, 1994, Verband der Elektrizitätswerke Österreichs, ISBN 3-9014-1100-3". The sound power level calculation corresponds to the formulae of the EPRI publication "Electric Power Research Institute: Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above, Second Edition, 1982, Palo Alto".

Test protocol:

The protocol includes a list of checked internal test cases as an attachment. For these follows:

max. deviation of surface field strength for test cases T01-T04 = $\pm 1.5 \cdot 10^{-7}$

max. deviation of sound power level according to EPRI for test cases T03-T04 = $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ dB

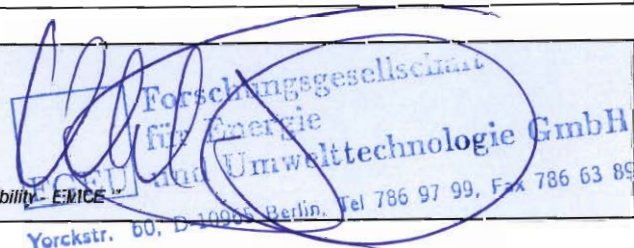
Formal Declaration of Conformity:

We hereby explain that the correct calculation of the internal test cases T01-T04 for implementation of the requirements on quality assurance according to physical theory and EPRI with the above-named WinField- / EFC-400-version for corona noise was checked.

FGEU mbH, Yorckstr. 60, D-10965 Berlin

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke

CEO, independent expert for "Electromagnetic ambient Environment Compatibility- EMICE"



Attachment: Internal test cases for WinField / EFC-400 for electric surface field strength

Sector	Calculation regulation	Origin (Country)	Number of test files
Industry	Physical Theory + EPRI Publication	-	4 (T01-T04)
Total:			4

Attachment: Internal test cases for WinField / EFC-400 for sound power level according to EPRI

Sector	Calculation regulation	Origin (Country)	Number of test files
Industry	Physical Theory + EPRI Publication	-	2 (T03-T04)
Total:			2