



## **Projekt:**

### **110-kV-Leitung Bidingen – Schongau**

#### **Abschnitt Schwabbruck – Schongau**

110-kV-Doppelfreileitung, Anlage 64601  
zwischen Schwabbruck und Pkt. Altstadt  
sowie

110-kV-Doppelkabelleitung Anlage 64653 und 64654  
zwischen Pkt. Altstadt und UW Schongau

Untersuchung zur Einhaltung der Grenzwerte der 26. Verordnung  
der Bundes-Immissionsschutzverordnung (26. BImSchV)

# **Unterlage 1.1**

## **Immissionsbericht**

November 2020

### **Träger des Vorhabens:**

**LEW Verteilnetz GmbH (LVN)**

Schaezlerstraße 3  
86150 Augsburg

### **Unterlagen erstellt durch:**

SPIE Deutschland & Zentraleuropa  
Geschäftsbereich CityNetworks & Grids  
Geschäftseinheit CeGIT  
Landshuter Straße 65  
84030 Ergolding

Lucia Wandra  
Dipl.-Ing. Energietechnik

## Inhalt

1. Beschreibung des Vorhabens .....	4
1.1 Veranlassung.....	4
1.2 Allgemeine Angaben zum Projekt .....	4
1.3 Aufgabenstellung .....	4
2. Grenz- und Richtwerte der Immissionen .....	5
3. Vorsorgeanforderung der 26. BImSchV .....	5
3.1 Minimierungsorte nach 26. BImSchVVwV .....	6
3.1.1 Vorprüfung.....	6
4. Berechnung der Immissionen.....	7
4.1 Technische Daten der 110-kV Freileitung .....	9
4.2 Technische Daten der 110-kV Erdkabel.....	11
4.3 Berechnungsgrundlagen.....	11
5. Berücksichtigung anderer Anlagen.....	12
6. Berechnung der Immissionen im Einwirkungsbereich .....	13
7. Berechnungsergebnisse in Einwirkungsbereich .....	14
8. Geräuschemissionen.....	16
9. Prüfung des Minimierungspotenzials und Festlegung der Maßnahmen.....	16
9.1 110-kV Freileitung.....	17
9.1.1 Abstandsoptimierung (Freileitung) .....	17
9.1.2 Elektrische Schirmung (Freileitung) .....	19
9.1.3 Minimierung der Seilabstände und Mastgeometrie (Freileitung).....	19
9.1.4 Optimieren der Leiteranordnung (Freileitung) .....	22
9.2 110-kV Kabelanlage .....	22
9.2.1 Minimieren der Kabelabstände (Kabelanlage) .....	22
9.2.2 Optimieren der Leiteranordnung (Kabel) .....	23
9.2.3 Optimieren der Verlegegeometrie (Kabel).....	24
9.2.4 Optimieren der Verlegetiefe (Kabel).....	24
10. Abkürzungen .....	26

## Tabellenverzeichnis

Die relevanten MMOs sind jeweils in der <i>Tabelle 1</i> dargestellt.....	7
Tabelle 2: Berechnungsparameter der Freileitung zur Ermittlung der Immissionen .....	9
Tabelle 3: Minimaler Bodenabstand im Spannungsfeld ermittelt nach DIN VDE 4/16 HSP .....	9
Tabelle 4: Schematische Mastbilder Bestand und Planung.....	10
Tabelle 5: Schematische Mastbilder Bestand und Planung.....	10
Tabelle 6: Berechnungsparameter der Erdkabel zur Ermittlung der Immissionen .....	11
Tabelle 7: Berechnungsparameter der 20-kV-Erdkabel .....	12
Tabelle 8: Minimierungsorte gem. 26. BImSchVVwV im Einwirkungsbereich .....	13
Tabelle 9: Bewertung der Maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Freileitung) ....	14
Tabelle 10: Bewertung der Maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Kabel) .....	14
Tabelle 11: Minimierungsmöglichkeiten Abstandoptimierung am Beispiel MMO4.....	18
Tabelle 12: Minimierungsmöglichkeiten am Beispiel MMO4 .....	21

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage MMO 2 (Sportplatz Schwabbruck) .....	17
Abbildung 2: Schematische Darstellung der üblichen Freileitungstypen.....	20
<b>Abbildung 3: Lage MMO 12 (Wohnbebauung Altenstadt, Sonnenstraße)</b> .....	25

## Anhänge zum Erläuterungsbericht

- **Anhang 1** zum Immissionsbericht:  
Berechnungsergebnisse für relevante Immissionsorte im Bewertungsabstand (Tabelle 1)
- **Anhang 2** zum Immissionsbericht:  
Lageplan 110-kV Freileitung Abschnitt Schwabbruck – Schongau, BA 3 (siehe Unterlage 3.1 „Lageplan mit Darstellung relevanter MMOs der Freileitung Anlage 64601 und Kabel Anlage 64653 und 64654“)
- **Anhang 3** zum Immissionsbericht:  
Lageplan 110-kV-Kabel Abschnitt Schwabbruck – Schongau, BA 3 (siehe Unterlage 3.1 „Lageplan mit Darstellung relevanter MMOs der Freileitung Anlage 64601 und Kabel Anlage 64653 und 64654“)

# 1. Beschreibung des Vorhabens

## 1.1 Veranlassung

Gegenstand des vorliegenden Verfahrens ist die Erneuerung der 110-kV Doppelleitung Anlage 65501 bzw. Anlage 65601 von Bidingen nach Schongau im Bauabschnitt von Schwabbruck bis zum Umspannwerk Schongau. Eigentümer der Hochspannungsanlagen ist die LEW Verteilnetz GmbH (nachfolgend mit LVN abgekürzt).

Die bestehende 110-kV-Leitung wurde im Jahre 1956 errichtet. Die Leitung ist mittlerweile am Ende ihrer mit wirtschaftlichen Mitteln zu erhaltenden Lebensdauer angelangt. Sie kann nicht mit vertretbarem wirtschaftlichem und technischem Aufwand saniert werden. Sämtliche Maste bestehen aus Thomasstahl, d.h. sie können vom Problem der Versprödung betroffen sein.

Zudem wurde die Leitung zum Zeitpunkt ihrer Errichtung für eine Leiterseiltemperatur von 40 °C dimensioniert. Auf Grund der zunehmenden Auslastung des Verteilnetzes der LVN unter anderem durch die Einspeisung von regenerativen Energien kann es zu einer Erwärmung der Leiterseile auf bis zu 80°C kommen, die dann wiederum zu einer Durchhangsvergrößerung der Leiterseile führt. Für diese Durchhangsvergrößerung ist die bestehende Leitung zum Teil nicht ausgelegt.

Weiterhin haben sich für den Betrieb der Leitung relevante Einflussgrößen, wie z. B. die Übertragungskapazität und Erkenntnisse über Witterungseinflüsse wesentlich geändert. Der Leitung kommt eine wichtige Verbindungsfunktion zwischen dem 380-/110-kV-Netzknotenpunkt in Bidingen und dem 110-kV-Netzknoten in Schongau zu. Eine komplette Erneuerung der Leitung ist unumgänglich.

## 1.2 Allgemeine Angaben zum Projekt

Das Vorhaben umfasst die Errichtung und den Betrieb einer 110-kV-Leitung als Freileitung mit 2 Stromkreisen vom bestehenden Mast Nr. 30 der Anlage 64601, der im Zuge eines voran gegangenen Planfeststellungsverfahrens bereits genehmigt wurde, bis zum neu zu errichtenden Kabelaufführungsmast Nr. 47, der als Übergangsbauwerk zum sich anschließenden Verkabelungsabschnitt dienen soll.

Außerdem umfasst das Vorhaben die Errichtung und den Betrieb einer 110-kV-Leitung als Kabelleitung mit 2 Stromkreisen vom neu zu errichtenden Kabelaufführungsmast Nr. 47 bis zum Umspannwerk in Schongau. Die beiden Kabelleitungen werden mit den Anlagennummern 64653 und 64654 bezeichnet. Genauere Beschreibung siehe Erläuterungsbericht.

## 1.3 Aufgabenstellung

Nach § 3 der 26. BImSchV [2] sind Niederfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich in Gebäuden oder auf Grundstücken, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und unter Berücksichtigung von Immissionen durch andere Niederfrequenzanlagen die im Anhang 1a der 26.BImSchV [2] bestimmten Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte nicht überschritten werden.

Für das Genehmigungsverfahren sind die mit der Maßnahme verbundenen Immissionen darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenz- und Richtwerte zu beurteilen. Hierbei handelt es sich ausschließlich um elektrische und magnetische Felder, die von der geplanten 110-kV-Freileitung und dem 110-kV-Erdkabel erzeugt werden können.

## 2. Grenz- und Richtwerte der Immissionen

Freileitungen erzeugen aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiter elektrische und magnetische Felder. Es handelt sich um Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hz (Hertz). Diese Frequenz ist dem so genannten Niederfrequenzbereich zugeordnet. Für elektrische Anlagen mit Nennspannungen größer als 1 kV ist seit dem 22. August 2013 die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) [2] in geänderter Fassung gültig. Nach § 3 der 26. BImSchV [2] sind Niederfrequenzanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich in Gebäuden oder auf Grundstücken, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung, die im Anhang 1a der 26. BImSchV [2] bestimmten Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und magnetischen Flussdichte nicht überschritten werden.

Freileitungen, die mit einer Frequenz von 50 Hz betrieben werden, gelten gemäß 26. BImSchV [2] als Niederfrequenzanlagen. Für diese gelten nachfolgende Immissionsgrenzwerte:

- Elektrische Feldstärke 5 kV/m
- Magnetische Flussdichte 100  $\mu$ T

Vom Landesausschuss für Immissionsschutz (LAI) [3] wurde eine Richtlinie zur Durchführung der Berechnung von elektrischen und magnetischen Feldern festgelegt. Für die Bestimmung der im Sinne des § 3 Satz 1 und § 4 maßgebenden Immissionsorte reicht es zur Umsetzung der 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung [2] aus, die untenstehend aufgelisteten Nahbereiche um eine Anlage (Freileitung) zu betrachten.

- 110-kV-Freileitungen  
Breite des jeweils an den ruhenden äußeren Leiter angrenzenden Streifens: 10 m
- 110-kV-Erdkabel  
Bereich im Radius um das Kabel: 1 m

Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind und sich in oben genannten Bereich einer Anlage befinden.

## 3. Vorsorgeanforderung der 26. BImSchV

Bei der Errichtung und wesentliche Änderung von Niederfrequenzanlagen sind die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Das Nähere regelt eine Verwaltungsvorschrift gemäß § 48 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchVVwV).

### 3.1 Minimierungsorte nach 26. BImSchVVwV

Minimierungsmaßnahmen gemäß § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV sind zu prüfen, wenn sich mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage sich befindet. Liegen mehrere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereiches, werden bei der Minimierung alle maßgeblichen Minimierungsorte gleichrangig betrachtet.

#### - **Bewertungsabstand**

Der Abstand von der Anlage, ab dem die Feldstärken mit zunehmender Entfernung durchgehend abnehmen. Ausgangspunkt ist jeweils die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters einer Freileitung und des äußeren Kabels eines Erdkabels.

Im Falle einer 110-kV-Freileitung gilt als Bewertungsabstand ein Bereich von 10 m vom äußersten ruhenden Leiterseil.

Bei einem 110-kV-Erdkabel beträgt der Bewertungsabstand 1 m vom äußersten Kabel.

#### - **Der Einwirkungsbereich**

Definiert den Bereich, in dem die Anlage sich signifikant von den natürlichen und mittleren anthropogen bedingten Immissionen abhebende elektrische oder magnetische Felder verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen.

Im Falle einer 110-kV-Freileitung gilt als Einwirkungsbereich ein Bereich von 200 m vom äußersten ruhenden Leiterseil.

Bei einem 110-kV-Erdkabel beträgt dieser Einwirkungsbereich 35 m vom äußersten Kabel

Die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen erfolgt individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse. Die Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der 26. BImSchV [2] (26. BImSchVVwV [4]) konkretisiert diese Anforderungen und schreibt die durchzuführenden planerischen Prüfschritte vor. Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt dabei in drei Teilschritten:

- Vorprüfung
- Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen
- Maßnahmenbewertung, Festlegung der Minimierungsmaßnahmen

#### 3.1.1 Vorprüfung

Die Vorprüfung dient der Feststellung, ob für die jeweilige Anlage überhaupt eine Minimierung durchzuführen ist und damit eine Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen erforderlich macht. Dadurch das Vorhaben eine wesentliche Änderung im Sinne der 26. BImSchV darstellt, ist zu prüfen, ob mindestens ein maßgeblicher Minimierungsort im Einwirkungsbereich der Anlage liegt.

Ein maßgeblicher Minimierungsort ist ein im Einwirkungsbereich der Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück nach § 4 Abs. 1 der 26. BImSchV (Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, etc.) sowie jedes Gebäude oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist.

Ausgangspunkt für die Festlegung des Einwirkungsbereichs ist gemäß Begriffsbestimmung der 26. BImSchVVwV immer die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters. Die Abstände des Einwirkungsbereichs gemäß 26. BImSchVVwV liegen für 110-kV-Freileitungen bei 200 m und für 110-kV-Erdkabel bei 35 m von der Achse der Anlage.

### 3.1.1.1 Bewertungsabstand der geplanten Trasse

Die Freileitung läuft größtenteils weit entfernt von jeglicher Wohnbebauung. Im Ortsbereich von Schwabbruck und Schwabsoien verläuft die bestehende 110-kV-Freileitung teilweise direkt über Bebauung, einige Gebäude dieser Bebauung dienen auch der Wohnnutzung.

Die neue geplante Freileitungstrasse wird hier optimiert und verläuft in größtmöglichem Abstand zu den Gebäuden zwischen den beiden Ortslagen in Schwabbruck und Schwabsoien.

Direkt im näheren Umfeld der neu geplanten Leitung, d. h. innerhalb des Bewertungsabstandes der 110-kV-Freileitung befinden sich keine Immissionsorte.

Ebenso wenig befinden sich Immissionsorte im näheren Umfeld, d. h. im Bewertungsabstand der geplanten 110-kV-Erdkabelleitung.

### 3.1.1.2 Einwirkungsbereich der geplanten Trasse

Innerhalb des Einwirkungsbereiches der Freileitung (200 m vom äußeren ruhenden Leiterseil, d. h. ca. 210 m von der Trassenmittelachse) befinden sich einige maßgebliche Minimierungsorte (MMOs).

Ebenso befinden sich einige MMOs im Einwirkungsbereich des 110-kV-Erdkabels.

Diese MMOs der 2. Kategorie (BP) ziehen eine Prüfung der Minimierungspflicht nur an den Bezugspunkten nach sich. Das Minimierungspotential wird (gemäß 26. BImSchVVwV) auf einen Bezugspunkt am Bewertungsabstand gerechnet.

Die relevanten MMOs sind jeweils in der *Tabelle 1* dargestellt.

Die räumliche Lage der maßgeblichen Minimierungsorte ist in gesonderten Lageplänen jeweils für den Freileitungs- und Kabelabschnitt dargestellt. Die Pläne befinden sich in dem *Anhang 1* und *Anhang 2* des Immissionsberichtes.

Die Prüfung des Minimierungspotenzial gemäß 26. BImSchVVwV erfolgt in dem Kapitel 9 des Immissionsberichtes.

## 4. Berechnung der Immissionen

Mittels des Rechenprogramms WinField der Firma Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU), Berlin, wurden die zu erwartenden elektrische Feldstärke, magnetische Flussdichte ermittelt. Hierzu wurden die in der Tabelle 1 und 2 aufgeführten Randbedingungen entsprechend der 26. BImSchV [2] berücksichtigt. Die hier ermittelten Werte treten nur bei betrieblicher Vollauslastung der Leitung auf. Dies ist als seltenes Ereignis zu betrachten, so dass die überwiegende Zeit deutlich niedrigere Werte vorliegen werden (konservativer Ansatz).

Für die Bestandsleitung und geplante Leitung gelten die gleichen nachfolgend aufgeführten elektrischen Parameter, die der Berechnung der elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten bei 100% Nennlast zu Grunde liegen.

## 4.1 Technische Daten der 110-kV Freileitung

Tabelle 2: Berechnungsparameter der Freileitung zur Ermittlung der Immissionen

<b>Typ der Freileitung:</b>	Verteilungsleitung		
<b>Frequenz</b>	50 Hz		
<b>Nennspannung:</b>	System 1: 110 kV		
	System 2: 110 kV		
<b>Höchste Betriebsspannung:</b>	123 kV		
<b>Phasenordnung Anlage 65501</b>	System 1 : A (L3) / E (L2) / B (L1)		
	System 1 : C (L3) / F (L2) / D (L1)		
<b>Maximale Strombelastung:</b>	<b>Bestand:</b>	<b>Planung:</b>	
	System 1:	630 A	1170 A
	System 2:	630 A	1170 A
<b>Seilbelegung:</b>	<b>Bestand:</b>	<b>Planung:</b>	
	System 1:	AL/ST 185/30	TALACS 300/50
	System 2: SLH:	AL/AW 229/15	TALACS 300/50
	AY/AW 115/33	AY/AW 121/43	
<b>Berechneter Lastfall:</b>	<b>Bestand:</b>	<b>Planung:</b>	
	Leiterseil	80°C	150°C + KRD
	Erdseil	40°C	40°C

Tabelle 3: Minimaler Bodenabstand im Spannungsfeld ermittelt nach DIN VDE 4/16 HSP

<b>Spannfeld</b>	<b>Planung</b>
Mast 39 – Mast 40	8,7 m
Mast 40 – Mast 41	9,1 m
Mast 43 – Mast 44	10,7 m

Tabelle 4: Schematische Mastbilder Bestand und Planung

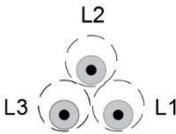
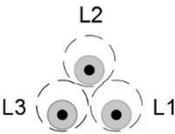
Mast	Winkelabspannmast	
Zustand:	Bestand	Planung
Mastbilder:	<p><b>WA2-2.0</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 5.00   5.00 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.25 3.75   3.75 3.25 A(L3)B(L1)   C(L3)D(L1)</p> <p><b>EA-2.0</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 4.55   4.55 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.50 2.80   2.80 3.50 A(L3)B(L1)   C(L3)D(L1)</p>	<p><b>WAs1 (Mast 39)</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 3.40 3.40 3.20   3.20 3.40 3.40 A(L3)E(L2)B(L1)   C(L3)F(L2)D(L1)</p> <p><b>WAs2 (Mast 41)</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 6.00   6.00 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.80 4.10   4.10 3.80 A(L3) B(L1)   C(L3) D(L1)</p>

Tabelle 5: Schematische Mastbilder Bestand und Planung

Mast	Tragmast	
Zustand:	Bestand	Planung
Mastbilder:	<p><b>T+0.0 verst.</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 4.55   4.55 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.50 2.80   2.80 3.50 A(L3)B(L1)   C(L3)D(L1)</p> <p><b>T+2.0 verst. Vers.</b></p> <p>ESTO X(SLH)</p> <p>I 4.75   4.75 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.50 3.00   3.00 3.50 A(L3)B(L1)   C(L3)D(L1)</p>	<p><b>Ts Mast (40,43,44)</b></p> <p>ESTO X(ES)</p> <p>I 5.50   5.50 E(L2)   F(L2)</p> <p>II 3.80 3.60   3.60 3.80 A(L3) B(L1)   C(L3) D(L1)</p>

## 4.2 Technische Daten der 110-kV Erdkabel

Tabelle 6: Berechnungsparameter der Erdkabel zur Ermittlung der Immissionen

<b>Typ der Kabelleitung:</b>	Verteilungsleitung	
<b>Kabelbezeichnung:</b>	Aluminium Kabel 2500 mm <sup>2</sup>	
<b>Frequenz</b>	50 Hz	
<b>Nennspannung:</b>	System 1: 110 kV	
	System 2: 110 kV	
<b>Höchste Betriebsspannung:</b>	123 kV	
<b>Maximale Strombelastung:</b>	1 System in Betrieb	2 Systeme in Betrieb (Normalfall)
	System 1: 0 A	System 1: 800 A
	System 2: 1170 A	System 2: 800 A
<b>Phasenordnung:</b>	System 1	System 2
		
<b>Verlegeart:</b>	Dreiecksverlegung	Dreiecksverlegung
<b>Verlegetiefe des Kabels:</b>	1,6 m	1,6 m
<b>Phasenabstand:</b>	0,2 m, Rohre DN200	0,2 m, Rohre DN200
<b>Stromkreise Achsabstand:</b>	2,0 m	2,0 m
<b>Trassenbreite:</b>	2,6 m	2,6 m

## 4.3 Berechnungsgrundlagen

<b>Berechnungsgröße:</b>	ungestörtes magnetisches und elektrisches Wechselfeld unter max. Last entsprechend DIN VDE 0848 und 26.BImSchV, Frequenz 50 Hz Berechneter Lastfall: Leiterseil 120°C+KRD
<b>Berechnungsgrundlage:</b>	zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen
<b>Berechnungsmethode:</b>	als Horizontalschnitte 1,0 m und in 4 m am Objekt über Grund für die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte der Freileitung und als Horizontalschnitte 1,0 m über Grund für die magnetische Flussdichte des Erdkabels
<b>Berechnungsraster:</b>	1,0 m x 1,0 m

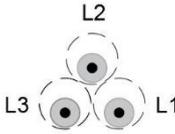
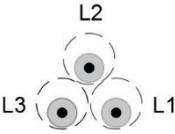
## 5. Berücksichtigung anderer Anlagen

Die 26. BImSchV schreibt gemäß § 3 Abs. 3 vor, dass bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte der zu errichtenden Niederfrequenzanlage alle Immissionen zu berücksichtigen sind, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz entstehen.

Im Betrachtungsraum der Freileitung sind keine ortsfesten Hochfrequenzanlagen im angegebenen Frequenzbereich bekannt.

Für die Berechnungen wurden die Immissionen der Grundfrequenz (50 Hz) ermittelt. Die parallel verlaufende 20-kV-Kabeltrasse wurde bei der Berechnung berücksichtigt mit folgenden Parametern:

Tabelle 7: Berechnungsparameter der 20-kV-Erdkabel

<b>Kabelbezeichnung:</b>	NA2XS2Y 1x300RM/25 mm <sup>2</sup> AL	
<b>Maximale Strombelastung:</b>	System 1: 400 A (im Rohr) System 1: 400 A (ohne Rohr)	System 2: 400 A (im Rohr) System 2: 400 A (ohne Rohr)
<b>Phasenordnung:</b>	System 1	System 2
		
<b>Verlegeart:</b>	Dreiecksverlegung	
<b>Verlegetiefe des Kabels:</b> - Acker - Straße	1,0 m – 1,2 m 0,6 m	1,0 m – 1,2 m 0,6 m

## 6. Berechnung der Immissionen im Einwirkungsbereich

Entsprechend den Anforderungen der 26. BImSchV, der Richtlinie zur Durchführung der Berechnung von elektrischen und magnetischen Feldern, wurden die im Bereich der Leitung zu erwartenden Immissionen an Immissionsorten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind, ermittelt.

In der unteren Tabelle ist ersichtlich, dass die MMOs ausschließlich der Kategorie 2 (BP) angehören. Diese 2. Kategorie im Einwirkungsbereich ist immer mindestens 20 Meter (Freileitung) bzw. 1 Meter (Kabelleitung) von der Trasse entfernt. Der Einwirkungsbereich von 20 Metern (Freileitung) stellt eine Worst-Case-Betrachtung dar. In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass das äußere ruhende Leiterseil maximal 10 Meter von der Leitungssachse entfernt liegt. Für diesen schlechtesten Fall beträgt der Bewertungsabstand also 20 Meter von der Leitungsmittelachse. Dieser Maximalwert wird als Grundlage für die gesamte Leitung verwendet. Es werden somit alle Orte innerhalb des Bewertungsabstandes von 10 Metern vom äußeren ruhenden Leiterseil betrachtet.

Tabelle 8: Minimierungsorte gem. 26. BImSchVVwV im Einwirkungsbereich

lfd. Nr.	Mast Nr. (neu)	Mast Nr. (neu)	Objekt (Maßgeblicher Minimierungsort = MMO)	Abstand von MMO zum ruhenden Leiterseil
1	39	40	Wohngrundstück Schwabbruck, Schwabsoier Straße 10	ca. 72 m
2	39	40	Wohnhaus Schwabbruck, Schwabsoier Straße 10	ca. 78 m
3	39	40	Gebäude Gewerbebetrieb Schwabbruck, Schwabsoier Straße	ca. 50 m
4	39	40	Sportplatz Schwabbruck, Schwabsoier Straße 9	ca. 26 m
5	40	41	Gebäude Gewerbebetrieb Schwabbruck, Schwabsoier Straße 11	ca. 215 m
6	40	41	Wohngrundstück Schwabbruck, Nordstraße 18	ca. 57 m
7	40	41	Wohnhaus Schwabbruck, Nordstraße 18	ca. 60 m
8	40	41	Gebäude Gewerbebetrieb Köhler & Co. GmbH, Schwabbruck, Altenstädter Str. 32	ca. 116 m
9	40	41	Wohnhaus Schwabbruck, Altenstädter Straße 23	ca. 150 m

10	43	44	Grundstück Aussiedlerhof Schwabbruck, Zur Pfannenschmiede 16	ca. 115 m
11	43	44	Wohngebäude Aussiedlerhof Schwabbruck, Zur Pfannenschmiede 16	ca. 149 m
12	Kabel		Wohngrundstück Altstadt, Sonnenstraße 51	ca. 13 m

Die Gebäude auf den Grundstücken Punzenbergweg 55, Gemarkung Schwabsoien sowie die Gebäude in Leitungsnähe zwischen Mast Nr. 30 alt und Mast Nr. 58 alt sind nicht für den dauerhaften Aufenthalt bestimmt. Dementsprechend sind diese nicht als maßgebliche Minimierungsorte zu betrachten.

## 7. Berechnungsergebnisse in Einwirkungsbereich

### 110-kV-Freileitung

Eine Betrachtung der Beispielrechnungen zur magnetischen Flussdichte und zur elektrischen Feldstärke der 110-kV-Freileitung zeigt, dass am sogenannten Bezugspunkt in 20 Meter Entfernung von der Trassenachse und unter der gewählten Mastausteilung sowie Masthöhe folgende Immissionen entstehen können:

Tabelle 9: Bewertung der Maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Freileitung)

Verfahrensgegenständliche Planung	Ist-Werte am Bezugspunkt (BP)	Grenzwerte gemäß 26. BImSchV	Prozent der Grenzwerte
Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	ca. 4 bis 8	100	4 bis 8 %
Elektrische Feldstärke in kV/m	ca. 0,3 bis 0,5	5	6 bis 10 %

Eine Gegenüberstellung der berechneten Immissionswerte zu den Werten der Bestandsleitung und der Planung ist aus der Anlage 1 zu entnehmen.

### 110-kV Kabelanlage

Eine Betrachtung der Beispielrechnungen zur magnetischen Flussdichte beim 110-kV-Erdkabel zeigt, dass bei der gewählten Verlegegeometrie (Dreiecksverlegung) am sogenannten Bezugspunkt in 1 Meter Entfernung von der Trassenachse folgende Immissionen entstehen können:

Tabelle 10: Bewertung der Maßgeblichen Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Kabel)

Verfahrensgegenständliche Planung	Ist-Werte am Bezugspunkt (BP)	Grenzwerte gemäß 26. BlmSchV	Prozent der Grenzwerte
Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	ca. 4	100	4 %
Elektrische Feldstärke in kV/m	0	5	0 %

**Schlussfolgerung:**

Es ist festzustellen, dass in dem zu untersuchenden Bereich die zu erwartenden magnetischen Flussdichten und elektrischen Feldstärken im Bewertungsbereich unterhalb der vom Gesetzgeber festgelegten Grenzwerte liegen.

Kurzzeitige und kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte (vgl. § 3 Abs. 2 der 26. BlmSchV) treten an den in § 3 Abs. 2 und § 4 Abs. 1 der 26. BlmSchV genannten Orten nicht auf. Erhebliche Belästigungen oder Schäden durch Wirkungen wie Funkenentladungen (auch zwischen Personen und leitfähigen Objekten) werden im gesamten Leitungsbereich vermieden

Die Grenzwerte der 26. BlmSchV werden an Orten, die dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen, immer eingehalten.

## 8. Geräuschemissionen

Während des Betriebes von Freileitungen kann es, besonders bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit, zu Korona-Entladungen an der Oberfläche der Leiterseile oder Armaturen kommen. Korona-Entladungen führen während der Betriebsphase zu Geräuschen in der direkten Umgebung der Anlage. Die Schallpegel hängen neben den Witterungseinflüssen vor allem von der elektrischen Feldstärke an der Oberfläche der Leiterseile (Randfeldstärke) ab.

Auf Grundlage von Erfahrungswerten aus anderen Projekten sind die Schallemissionen bei 110-kV-Leitungen aus schalltechnischer Sicht vernachlässigbar. Die Einhaltung der einschlägigen gesetzlichen Grenzwerte ist daher sichergestellt. Erläuterung der Berechnungsergebnisse

## 9. Prüfung des Minimierungspotenzials und Festlegung der Maßnahmen

Die Minimierungsprüfung je Bezugspunkt/MMO soll nach dem Stand der Technik erfolgen. Der Stand der Technik ist in der 26. BImSchVVwV im Kap. 5.3.1 und 5.3.2. abschließend beschrieben.

Die Minimierungsprüfung und Umsetzung des Minimierungspotential würde von der Vorhabenträgerin wie folgt vorgenommen:

### 110-kV Freileitung

Es sind fünf Möglichkeiten der Minimierung zu prüfen:

1. Abstandsoptimierung,
2. Elektrische Schirmung,
3. Minimieren der Seilabstände, Optimieren der Mastkopfgeometrie und
4. Optimieren der Leiteranordnung.

### 110-kV Erdkabelanlage

Es sind weitere vier Möglichkeiten der Minimierung zu prüfen:

1. Minimieren der Kabelabstände,
2. Optimieren der Leiteranordnung,
3. Optimieren der Verlegegeometrie und
4. Optimieren der Verlegetiefe.

Eine Prüfung von Minimierungsmöglichkeiten, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, die andere technischen Übertragungssysteme (z. B. Kabel statt Freileitung) beinhalten, oder die im Zuge der Alternativenprüfung (z. B. alternative Trassenführungen oder Standortalternativen) auftreten können, muss im Zuge der Ermittlung des Minimierungspotentials nicht erfolgen. Diese Vorgabe findet sich in Kapitel 3.1 „Minimierungsziel und Rahmenbedingungen“ der 26. BImSchVVwV.

Die 26. BImSchVVwV gibt in diesem Kapitel 3.1 weiterhin vor, dass die Prüfung möglicher Minimierungsmaßnahmen individuell für die geplante Anlage einschließlich ihrer geplanten Leistung und für die festgelegte Trasse zu erfolgen hat. Dies bedeutet, dass grundsätzlich kein Vergleich der neuen Immissionen mit den Immissionen durch die Bestandstrasse durchgeführt werden muss.

## 9.1 110-kV Freileitung

### 9.1.1 Abstandsoptimierung (Freileitung)

Grundsätzlich können die Felder an den Bezugspunkten reduziert werden, indem man im Zuge der Mastausstellung die Aufhängehöhen der Leiterseile entsprechend dimensioniert. Auf der gesamten Freileitung wurde als Planungsgrundlage in der Regel eine Bodenabstandskurve von mindestens 9 Metern gewählt, obwohl die technische Norm lediglich einen Mindestabstand von 6 Metern zum Boden bzw. 7 Metern zu gekreuzten Verkehrswegen vorschreibt.

Die Bestandsleitung wurde ursprünglich nach den durch die Norm vorgegebenen elektrischen Schutzabständen mit einem Mindestabstand von 6 Metern zum Boden geplant und errichtet.

Es wurde also auf der gesamten Leitung grundsätzlich eine Abstandsoptimierung der Leiterseile zum Boden von mindestens 3 Metern durchgeführt.

Zudem wurde durch die Trassenoptimierung für nahezu alle MMOs eine Abstandsoptimierung durch die Vergrößerung des Abstandes der Trasse zu den Minimierungsorten durchgeführt.

Nachdem sich die MMOs im betrachteten Projekt alle in größerem Abstand seitlich zur Leitung befinden, ist eine Minimierung durch Masterhöhung nur sehr bedingt wirksam.

Beispielhaft soll dies am MMO 4 (Sportplatz Schwabbruck) als „worst-case“-Betrachtung mit ca. 35 m horizontalem Abstand zur Leitungsmittelachse gezeigt werden. Die geplante Leiterseilhöhe beträgt in Höhe dieses MMOs etwa 9 m bei Umsetzung der verfahrensgegenständlichen Planung.

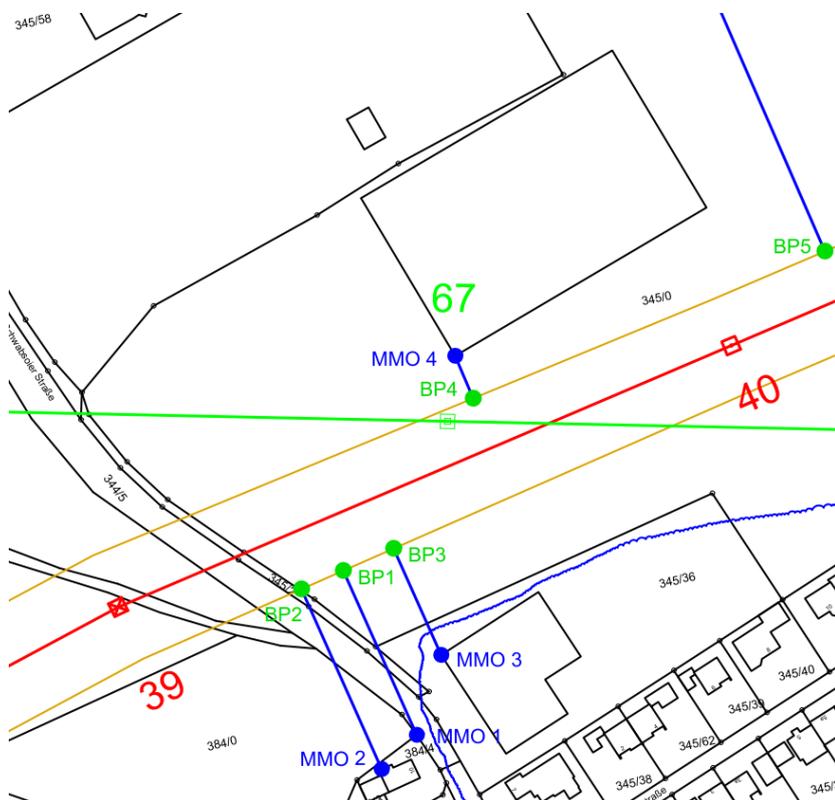


Abbildung 1: Lage MMO 2 (Sportplatz Schwabbruck)

Die verfahrensgegenständliche Planung bringt hier folgende Ergebnisse mit folgenden beispielhaften Minimierungsmöglichkeiten:

Tabelle 11: Minimierungsmöglichkeiten Abstandoptimierung am Beispiel MMO4

Sportplatz Schwabbruck („Worst Case“)	Am Bewertungspunkt (BP)		Am maßgeblichen Minimierungsort (MMO)	
	Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	Elektrische Feldstärke in kV/m	Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	Elektrische Feldstärke in kV/m
Bestand	3,2	0,50	1,5	0,17
Erneuerung verfahrensgegen- ständliche Planung	7,3	0,47	2,1	0,10
Erneuerung mit höheren Masten (Maste 39 und 40 jeweils um 6 Meter erhöht)	4,7	0,35	1,9	0,10
Grenzwerte nach 26. BImSchV	100	5	100	5
<b>Minimierungspotenzial in % des Grenzwertes</b>	<b>2,6 %</b>	<b>3 %</b>	<b>0,2 %</b>	<b>0,0 %</b>

Am gezeigten Beispiel ist erkennbar, dass die Minimierungsmöglichkeiten durch Abstandsoptimierungen beim MMO 4 am Bewertungspunkt gering, am maßgeblichen Minimierungsort selbst äußerst gering sind. Für alle anderen MMOs sind diese durch den größeren seitlichen Abstand zur Leitung nochmals deutlich geringer.

Eine Erhöhung der Leitung würde zudem massive Eingriffe in das Landschaftsbild in einem sehr sensiblen Bereich nach sich ziehen. Zudem würde das Kollisionsrisiko für die Avifauna in einem ebenfalls sehr sensiblen Bereich deutlich erhöht. Deshalb wird die Leitungserhöhung auf ein notwendiges Mindestmaß (sinnvolle Bodenabstandskurve von mindestens 9 Metern) begrenzt.

Weitere Nachteile noch höherer Maste wären die größeren Eingriffe in das Privateigentum durch den zunehmenden Bodenaustritt und die steigenden Investitionskosten. Diese Investitionskosten würden sich um etwa 20.000 € erhöhen.

### Fazit

Aufgrund der äußerst geringen Verbesserung bei gleichzeitig hohen Investitionen und den markanten Nachteilen einer Leitungserhöhung, sieht die Vorhabensträgerin davon ab.

### 9.1.2 Elektrische Schirmung (Freileitung)

Eine elektrische Schirmung als Bestandteil der Leitungsanlage würde durch die Anbringung einer zusätzlichen Traverse zwischen der untersten Leiterseilebene und dem Erdboden mit der Anbringung von geerdeten Seilen realisiert.

Gemäß geltenden DIN VDE-Bestimmungen sind jedoch auch die geerdeten Seile als Leiter zu betrachten, zu denen die gleichen Sicherheitsabstände einzuhalten sind wie zu spannungsführenden Leitern. Die unterste (Erd-)Seilebene hätte damit den gleichen Bodenabstand wie sonst die unterste Leiterseilebene. Damit würde der Mast aber im 110-kV-Bereich ca. 4 bis 5 m höher. Der zu erzielende Effekt durch diese Maßnahme wäre nicht viel größer als bei einer Masterrhöhung gem. Abstandsoptimierung, der hierzu nötige Aufwand aber viel größer.

Durch die zusätzliche Seilebene wäre die Beeinträchtigung der Avifauna wegen der Gefahr erhöhten Drahtanflugs größer, auch das Landschaftsbild wäre zusätzlich gestört.

#### Fazit

In der Praxis stellt diese Maßnahme daher aus Sicht der Vorhabensträgerin keine wirklich vorteilhafte Lösung dar und ist gegenüber einer Masterrhöhung immer, also auch im hier vorliegenden Projekt, zurückzustellen.

### 9.1.3 Minimierung der Seilabstände und Mastgeometrie (Freileitung)

Zu Erzielung der notwendigen (Betriebs)Sicherheit einer Freileitung sind in den maßgebenden technischen Vorschriften, insbesondere der EN 50341, abhängig von der Anordnung und des Durchhangs der Leiterseile Mindestabstände zwischen den Seilen vorgeschrieben.

Daneben sind auch Mindestabstände der Leiter zum Mast bzw. geerdeten Teilen gefordert. Neben der Betriebssicherheit der Leitung ist jedoch auch der Belang der Arbeitssicherheit mitentscheidend.

Um Masten während des Betriebs der Leitung besteigen zu können sind daher gewisse Mindestabstände von dem jeweils innersten Seil zum Steiggang einzuhalten. Dies bedingt dann zwangsläufig einen gewissen Abstand der Seilsysteme zueinander.

Bereits bei der Entwicklung eines Mastgestänges wird versucht, obige Abstände zu minimieren und in Bezug auf die Gesamtsituation zu optimieren. Je größer die horizontalen Abstände der Seile sind, desto breiter wird der zu entschädigende Überspannungsbereich der Leitung. Vertikal größere Abstände bedingen größere Masthöhen und steigern damit ebenfalls die Kosten. Es ist daher im eigenen Interesse des Leitungsbetreibers, möglichst kompakte Gestänge zu errichten.

Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass die Abstände der Seile bereits unter Würdigung aller betrieblichen Belange des Betreibers minimiert sind. Eine noch darüber hinaus zu erzielende Wirksamkeit ist daher in der Praxis eher theoretischer Natur.

#### Fazit

Im vorliegenden Fall sind die Abstände der Seile bereits unter Würdigung aller betrieblichen Belange minimiert.

Darüber hinaus ergäbe sich durch die Maßnahme nur eine relativ geringe Optimierung der magnetischen Flussdichte und elektrischen Feldstärke von jeweils unter einem Prozent des Grenzwertes.

Somit sieht der Vorhabenträger von einer Optimierung durch weitere Minimierung der Seilabstände im vorliegenden Projekt ab.

### Optimieren der Mastkopfgeometrie (Freileitung)

Grundsätzlich gibt es verschiedene Arten von Masten. Die Masten unterscheiden sich von der geometrischen Anordnung der Leiterseile. Es gibt 3 gängige Grundtypen von Freileitungsmasten für Doppelfreileitungen:

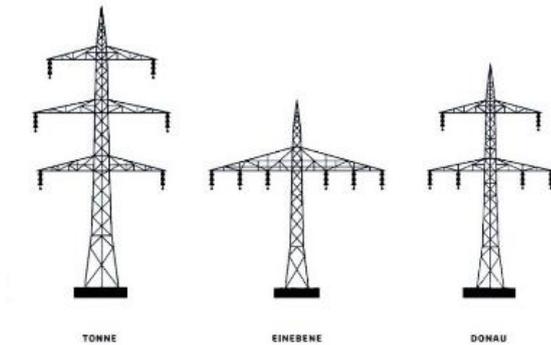


Abbildung 2: Schematische Darstellung der üblichen Freileitungstypen

#### Tonne:

Vorteil der Tonnenanordnung ist die geringe Trassenbreite und die relativ geringen elektrischen und magnetischen Felder. Trotz der eher ungünstigen Leiterseilgeometrie sind die Felder in Bodennähe relativ gering, da es nur einen stromführenden Leiter auf der niedrigsten Seilebene gibt. Nachteilig sind 4 Seilebenen (3 x Leiterseil und Erdseil), dies führt zu einer erhöhten Kollisionsgefahr für die Avifauna. Zudem sind Masten in der Tonnenanordnung erheblich höher und damit gibt es erhebliche Einschnitte in das Landschaftsbild.

#### Einebene:

Vorteil der Einebenenanordnung ist die verminderte Kollisionsgefahr für die Avifauna, da nur 2 Seilebenen (Leiterseil und Erdseil) vorhanden sind. Bedingt durch nur eine Traverse ist die Bauhöhe der Einebene am geringsten und somit werden die negativen Auswirkungen auf das Landschaftsbild auf ein Minimum reduziert.

Nachteilig ist die Trassenbreite, bedingt durch die elektrischen Mindestabstände zu den Leiterseilen, und die elektrischen und magnetischen Felder in Bodennähe direkt unter der Leitung. Durch die geometrisch nachteilige Anordnung und der Anordnung von 3 stromführenden Leiterseilen auf niedrigster Seilebene ergeben sich die höchsten Felder im Vergleich insbesondere im Nahbereich der Trasse.

#### Donau:

Das Donaumastbild stellt den Kompromiss zwischen Tonne und Einebene dar. Die Trassenbreite ist moderat, ebenso die Höhe der Masten und die Kollisionsgefahr für die Avifauna.

Technisch günstiger ist das Mastbild hinsichtlich der Vermeidung einer Emission elektrischer und magnetischer Felder, da die geometrische Anordnung im nahezu gleichseitigen Dreieck eine gegenseitige, teilweise Kompensation der Felder ermöglicht. Dies führt dazu, dass das Donaumastgestänge in der Regel die geringste Feldemission hat.

## Mögliche Wechselwirkungen

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Feldstärken bei Verwendung der unterschiedlichen Masttypen auch stark von der Anordnung der Leiterseile (Phasen) abhängen. Je nachdem ob die Phasen optimiert werden können oder nicht, ergeben sich hier Wechselwirkungen zwischen den geforderten Minimierungsoptionen Punkt 4 (Mastkopfgeometrie) und Punkt 5 (Leiteranordnung) je nach gewähltem Masttyp.

Insbesondere beim Donaumasttyp ergeben sich bei einer Phasenordnung, die vom „worst case“-Fall tatsächlich positiv abweicht, erheblich geringere Felder. Beim Tonnen- und Einebenenmast ist dieser Unterschied deutlich weniger ausgeprägt.

Im vorliegenden Fall wird grundsätzlich wie im Bestand das Donaumastbild, im Einzelfall jedoch auch das Einebenenmastbild verwendet.

Für die elektromagnetischen Felder relevant ist die Ausprägung des Mastes Nr. 39 (neu) als Einebenenmastbild. Zwingende Gründe sind hierfür der Naturschutz (Reduzierung des Kollisionsrisikos der Avifauna im Gründletsmoos) und die Sensibilität des Landschaftsbildes im Ortsbereich von Schwabbruck und Schwabsoien. Durch die Verwendung eines anderen Mastbildes (z. B. Donaumastbild) könnte die Feldbelastung **direkt unter der Leitung**, je nach möglicher Phasenbelegung der beiden elektrischen Systeme, geringfügig reduziert werden.

Bei weiter entfernten MMOs ergibt sich teilweise sogar eine Verschlechterung der magnetischen Feldwerte. In der folgenden Tabelle ist dies beispielhaft am nächst gelegenen MMO 4 dargestellt.

Tabelle 12: Minimierungsmöglichkeiten am Beispiel MMO4

Sportplatz Schwabbruck („Worst Case“)	Am Bewertungspunkt (BP)		Am maßgeblichen Minimierungsort (MMO)	
	Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	Elektrische Feldstärke in $\text{kV/m}$	Magnetische Flussdichte in $\mu\text{T}$	Elektrische Feldstärke in $\text{kV/m}$
Erneuerung verfahrensgegenständliche Planung <b>Einebenenmastbild Mast 39</b>	7,3	0,47	<b>2,1</b>	<b>0,10</b>
Erneuerung <b>Variante Donaumastbild Mast 39</b>	7,0	0,36	<b>2,1</b>	<b>0,13</b>
<b>Minimierungspotenzial in % des Grenzwertes</b>	0,3 %	0,11 %	<b>0 %</b>	<b>-0,6 %</b>

Da die Phasenbelegung in Kombination mit der Stromflussrichtung nicht immer frei optimiert werden können (siehe nächstes Kapitel) sind die Minimierungsmöglichkeiten äußerst begrenzt.

Darüber hinaus würde die Änderung in ein Donaumastbild eine Erhöhung des Kollisionsrisikos für die Avifauna in einem äußerst sensiblen Bereich und die Erhöhung des Eingriffes in das Landschaftsbild in einen ebenfalls sehr empfindlichen Bereich nach sich ziehen.

## **Fazit**

Eine Änderung des Mastbildes würde nicht zu einer nennenswerten Optimierung der Feldbelastung führen und weitere deutliche Nachteile beim Schutzgut Avifauna und Landschaftsbild mit sich bringen. Deswegen scheidet die Minimierungsmöglichkeit „Optimierung der Mastkopfgeometrie“ aus.

### **9.1.4 Optimieren der Leiteranordnung (Freileitung)**

Der elektrische Anschluss des Drehstromsystems an die Leiter eines Leitungsabschnitts (von Abspannmast zu Abspannmast) ist im Prinzip wählbar. Das resultierende Magnetfeld hängt dabei neben der Geometrie auch von der Anschlussreihenfolge („Phasenfolge“) der Leiter ab. Zudem spielt auch noch die Höhe und die Richtung des Leistungsflusses eine Rolle.

Die optimale Leiteranordnung kann für das elektrische und das magnetische Feld unterschiedlich sein und sich auch im Nah- und Fernbereich unterschiedlich auswirken. Es stellt sich daher die Frage für welchen konkreten Zustand eine Optimierung erfolgen soll.

Da im heutigen Netzbetrieb bedingt durch stark schwankende EEG-Einspeisungen sowohl die Richtung der Leistungsflüsse als auch deren Höhe sich permanent ändern (können) ist die Minimierung auf einen bestimmten (Worst-Case-) Fall sehr fragwürdig. Es könnten im realen Netzbetrieb dann Emissionen auftreten, die in der meisten Zeit höher wären als im nicht-minimierten Fall.

## **Fazit**

Nachdem diese Minimierungsoption durch die sich möglicherweise ändernde Richtung der Leistungsflüsse nur theoretischer Natur ist und sich im praktischen Betrieb gegenteilige Effekte ergeben können, ist sie aus Sicht des Vorhabenträgers keine sinnvolle Maßnahme.

## **9.2 110-kV Kabelanlage**

### **9.2.1 Minimieren der Kabelabstände (Kabelanlage)**

Im Bereich der neu geplanten Erdkabeltrasse werden die Kabel grundsätzlich in möglichst geringem Abstand zueinander verlegt. Hierzu gehört auch die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen.

Diese Minimierungsmaßnahme wird immer so weit wie technisch möglich realisiert. Grundsätzlich liegt eine möglichst geringe Trassenbreite im Interesse des Vorhabenträgers, da notwendige Baukosten und Inanspruchnahme von Grundeigentums reduziert wird.

Die Verringerung der Kabelabstände führt jedoch zu einer Erwärmung des Bodens und damit zu einer Reduzierung der Übertragungsfähigkeit der Leitung. Um die netztechnisch erforderliche Leistung ohne Erhöhung des Leiterquerschnitts zu garantieren, können deshalb die Abstände im vorgegebenen Kabelgrabenprofil nicht weiter reduziert werden.

Schließlich muss ein gewisser Mindestabstand der beiden elektrischen Kabelsysteme gewährleistet sein, um im Störfall eine sichere Reparatur des beschädigten Systems neben dem in Betrieb befindlichen Systems gewährleisten zu können.

**Fazit:**

Aus Gründen der Übertragungsfähigkeit und der Betriebssicherheit können die Kabelabstände aus Sicht des Vorhabenträgers nicht weiter reduziert werden.

**9.2.2 Optimieren der Leiteranordnung (Kabel)**

Analog zur Optimierung der Phasenordnung bei der Freileitung kann auch beim Kabel die Leiteranordnung hinsichtlich des Magnetfeldes optimiert werden. Nachdem sich auch hier der Leistungsfluss durch geänderte Einspeisungen insbesondere nach EEG (Wind, Sonne) im betrachteten Leitungsabschnitt umdrehen kann, ist die Möglichkeit einer Optimierung sehr fragwürdig und analog zur Freileitung aus Sicht des Vorhabenträgers keine sinnvolle Maßnahme.

Optimieren der Verlegegeometrie (Kabel)

Erdkabel werden so verlegt, dass die relative Position der einzelnen Kabel eine bestmögliche Kompensation der entstehenden magnetischen Felder ermöglicht. Wenn möglich, wird hierfür eine Dreiecksanordnung gewählt.

Nachteilig ist hierbei, die etwas schlechtere Wärmeabfuhr der Kabel. Somit muss hier oftmals ein höherer Querschnitt gewählt werden, was die Investitionskosten deutlich erhöht.

Im vorliegenden Projekt wurde dennoch auf die optimale Verlegung im Dreieck zurückgegriffen, d. h. die Magnetfelder wurden so weit wie möglich minimiert.

**Fazit:**

Die Minimierungsmöglichkeit wurde vollumfänglich umgesetzt.

### 9.2.3 Optimieren der Verlegegeometrie (Kabel)

Erdkabel werden so verlegt, dass die relative Position der einzelnen Kabel eine bestmögliche Kompensation der entstehenden magnetischen Felder ermöglicht. Wenn möglich, wird hierfür eine Dreiecksanordnung gewählt.

Nachteilig ist hierbei, die etwas schlechtere Wärmeabfuhr der Kabel. Somit muss hier oftmals ein höherer Querschnitt gewählt werden, was die Investitionskosten deutlich erhöht.

Im vorliegenden Projekt wurde dennoch auf die optimale Verlegung im Dreieck zurückgegriffen, d. h. die Magnetfelder wurden so weit wie möglich minimiert.

#### Fazit:

Die Minimierungsmöglichkeit wurde vollumfänglich umgesetzt.

### 9.2.4 Optimieren der Verlegetiefe (Kabel)

Zur Reduzierung der Magnetfelder werden die Erdkabel so tief wie möglich im Boden verlegt. Diese Maßnahme entspricht der Minimierungsmaßnahme Abstandsoptimierung bei der Freileitung.

Problematisch ist bei höherer Verlegetiefe die schlechte Wärmeabfuhr der Kabel und damit eine Begrenzung der möglichen Übertragungsfähigkeit. Hinzu kommt eine starke Zunahme der Investitionskosten für die Kabeltrasse. So würde eine um eine Meter tiefere Verlegung Mehrkosten in Höhe von ca. 300.000 € nach sich ziehen, welche in keinem Verhältnis zu der Reduzierung der Magnetfelder steht.

Die folgende Abbildung zeigt die seitliche Lage des MMO 12.



**Abbildung 3: Lage MMO 12 (Wohnbebauung Altstadt, Sonnenstraße)**

Die Magnetfelder des Erdkabels nehmen nämlich in zunehmendem seitlichen Abstand verglichen mit den Magnetfeldern einer Freileitung sehr stark ab. Deshalb kann der ohnehin schon sehr geringe Wert von  $0,5 \mu\text{T}$  am maßgeblichen Minimierungsort MMO 12 (Wohngrundstück Altstadt, Sonnenstraße 51) durch eine größere Verlegetiefe nicht mehr nennenswert reduziert werden. Eine um 1 m größere Verlegetiefe würde hier nämlich durch die große seitliche Entfernung von ca. 15 m lediglich eine Erhöhung der direkten Entfernung der Wohnbebauung zur Kabelleitung von ca. 15,03 m auf ca. 15,13 m bedeuten.

Die bereits sehr geringen Magnetfelder würden sich um ca.  $0,005 \mu\text{T}$  verringern, was eine Reduzierung um weniger als ein Zehntausendstel des Grenzwertes wäre.

**Fazit:**

Auf Grund der geringen Wirksamkeit am maßgeblichen Minimierungsort bei gleichzeitig sehr hohen Kosten stellt die tiefere Verlegung der Kabel keine sinnvolle Lösung dar.

## 10. Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
A	Ampere
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BImSchVVwV	Bundesimmissionsschutzverordnungsverwaltungsvorschrift
BP	Maßgeblicher Minimierungsort mit Prüfung des Minimierungspotentials nur an den Bezugspunkten
CB	Cross-Bonding
Cu	Kupfer
DIN	Deutsches Institut für Normung
EM	Endmast
EN	Europäische Norm
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EOK	Erdoberkante
IP	Maßgeblicher Minimierungsort mit individueller Minimierungsprüfung
kV	Kilovolt
GOK	Geländeoberkante
LES	Lichtwellenleitererdseil
LEW	Lechwerke AG
LVN	LEW Verteilnetz GmbH
MMO	Maßgeblicher Minimierungsort
NOVA	<u>N</u> etz <u>o</u> ptimierung vor Netz <u>v</u> erstärkung vor Netz <u>n</u> ebau bzw. Netz <u>a</u> usbau
St	Stahl
UA	Umspannanlage
UW	Umspannwerk
µT	Mikrotesla
V	Volt
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
VO	Verordnung
VPE	Vernetztes Polyethylen
WA	Winkelabspannmast
WAZ	Winkelabzweigmast
WKE	Winkelkabelendmast
WSG	Wasserschutzgebiet

## Literatur

Rechenprogramms WinField, Version 2019, der Firma Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie (FGEU), Berlin

Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) v. 14.08.2013

LAI-Hinweise zur Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder v. 23.10.2014

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV; 26.BImSchVVwV v. 26.02.2016