

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West – Luders-
heim_West
(LH-07-B170)**

Planfeststellungsunterlage

Unterlage 9.1

**Elektrische und magnetische Felder mit
Minimierungsbetrachtung**

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel

c/o SWECO GmbH

Hanauer Landstraße 135 - 137

60314 Frankfurt am Main

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i.V. J. Gotzler gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
Bearbeitung:	IGKWT – Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel gez. i.V. D. Edelhoff (Projektleitung)	
Anlagen zum Dokument		
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller Straße 1 - 5
82152 Planegg

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.mbbm-ind.com

M. Sc. Frank Dauenhauer
Telefon +49(89)85602 3299
frank.dauenhauer@mbbm-ind.com

14. April 2025
M182079/01 Version 3 DNH/BGG

Juraleitung Abschnitt Katzwang

26. BlmschV

Bericht Nr. M182079/01

Auftraggeber:

Sweco GmbH
Postfach 30 01 06
50771 Köln

Bearbeitet von:

M. Sc. Frank Dauenhauer

Berichtsumfang:

Insgesamt 18 Seiten, davon
16 Seiten Textteil
2 Seiten Anhang

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner,
Manuel Männel,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	5
2 Verwendete Unterlagen	5
3 Rechtliche Grundlage	7
3.1 26. BImSchV	7
3.2 26. BImSchVVwV	8
4 Ergebnisse	9
4.1 Vorgehensweise Immissionsprognose	9
4.2 Berechnung der magnetischen Felder	9
4.3 Berechnungsergebnisse	12
4.4 Minimierungsmaßnahmen	13

Anhang: Horizontalschnitt der magnetischen Flussdichte in 0 m Höhe

Zusammenfassung

Die TenneT TSO GmbH plant den Ersatzneubau der 380-kV-Höchstspannungsleitung zwischen den Umspannwerken Raitersaich-West, Ludersheim, Sittling und Altheim. Das Vorhaben ist in mehrere Abschnitte unterteilt und wird teilweise auch als Erdkabel, die z. T. in begehbaren unterirdischen Tunnelröhren geführt werden, ausgeführt. Für den Abschnitt „Katzwang“ soll nun geprüft werden, ob die Grenzwerte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) und die Vorgaben zur Minimierung gemäß 26. BImSchVVwV im Umfeld der geplanten Kabelquerung mit einer Gesamtlänge von etwa 2,3 km eingehalten werden.

Ergebnis

Für den Abschnitt „Katzwang“ wurden keine maßgeblichen Immissionsorte (MIO) ermittelt. Zur Information wurde die magnetische Flussdichte an Orten direkt oberhalb der Kabel berechnet und angegeben.

Der Grenzwert für die magnetische Flussdichte gemäß 26. BImSchV beträgt 100 μT . Die ermittelten Maximalwerte der magnetischen Flussdichte betragen auf den Grundstücken oberhalb der Leitung in 0 m Höhe zwischen 2,2 μT und 6,0 μT .

Anmerkung:

Die elektrische Feldstärke muss nicht ermittelt werden, da die Kabel geschirmt sind.

Anmerkung zur Einwirkung von Hochfrequenzsendeanlagen:

Innerhalb eines Abstands von 300 m um die maßgeblichen Immissionsorte im Umfeld der Leitung befindet sich laut Angaben der Bundesnetzagentur (EMF-Karte, 22.01.2025) keine Hochfrequenz-Sendeanlage mit einer Frequenz zwischen 9 kHz und 10 MHz, welche als Vorbelastung gemäß den Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV), Länderausschuss für Immissionsschutz LAI (LAI-Hinweise), zu berücksichtigen wäre.

Minimierung gemäß 26. BImSchVVwV:

Für den Abschnitt „Katzwang“ wurden insgesamt 29 maßgebliche Minimierungsorte identifiziert.

Das Minimierungspotenzial für die Minimierungsmaßnahmen „Minimierung der Kabelabstände“, „Optimieren der Verlegegeometrie“ und „Optimieren der Verlegetiefe“ ist bereits ausgeschöpft bzw. eine weitere Minimierung ist nicht verhältnismäßig.

Das Potenzial einer Optimierung der gemäß Phasenlageplan vorgesehenen Phasenordnung wurde geprüft und ermittelt. Gemäß Schirmverbindungsplan hat die Kabeltrasse im ganzen Abschnitt (Erdkabel und Tunnel) stets die Phasenlage 123 123 123 123 (West nach Ost).

Die Phasenlage ist im Erdkabelabschnitt durch die Kabelübergabestation vorgegeben. Zudem stellt die Phasenlage 123 123 123 123 gemäß AG den Best-Case für die magnetische Flussdichte oberhalb des Kabelgrabens dar, wodurch auch der Grenzwert von 100 μT im gesamten für Personen zugänglichen Bereich oberhalb der Kabel ab einer Höhe von 0,2 m über GOK eingehalten wird.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich:



M. Sc. Frank Dauenhauer
– Projektverantwortlicher –



M. Sc. Felix Martin
– Projektteam –

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14119-01-00

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt nur für den in der
Urkundenanlage aufgeführten Akkreditierungsumfang.

1 Situation und Aufgabenstellung

Die TenneT TSO GmbH plant den Ersatzneubau der 380-kV-Höchstspannungsleitung zwischen den Umspannwerken Raitersaich-West, Ludersheim, Sittling und Altheim. Das Vorhaben ist in mehrere Abschnitte unterteilt und wird teilweise auch als Erdkabel, die z. T. in begehbaren unterirdischen Tunnelröhren geführt werden, ausgeführt. Für den Abschnitt „Katzwang“ soll nun geprüft werden, ob die Grenzwerte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) und die Vorgaben zur Minimierung gemäß 26. BImSchVVwV im Umfeld der geplanten Kabelquerung mit einer Gesamtlänge von etwa 2,3 km eingehalten werden.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] 26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über elektromagnetische Felder vom 21. August 2013
- [2] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz LAI, September 2014
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 26. Februar 2016
- [4] DIN EN 50413; VDE 0848-1: Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz), August 2009
- [5] ISO/IEC Guide 98-3:2008-09: Messunsicherheit – Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM)
- [6] Hersteller-Zertifikat (Genauigkeit der Feld-, Leistungsflussdichte- und Schallpegelberechnung), Winfield/EFC-400 – Electrical and Magnetic Field Calculation Version >= V2021, 01.01.2021
- [7] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Lage-/Profilplan Erdkabeltrassierung, Stromkreis Süd Katzwang;
Maßstab: 1:500; Stand: 28.10.2024, TenneT
- [8] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Lage-/Profilplan Erdkabeltrassierung, Stromkreis Nord Katzwang
Maßstab: 1:500; Stand: 28.10.2024, TenneT
- [9] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Lage-/Profilplan Erdkabeltrassierung, Stromkreis Süd Wolkersdorf
Maßstab: 1:1000; Stand: 28.10.2024, TenneT

- [10] Planungsunterlage: Lageplan
 Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt;
 Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Lage-/Profilplan Erdkabeltrassierung,
 Stromkreis Nord Wolkersdorf
 Maßstab: 1:1000; Stand: 28.10.2024, TenneT
- [11] Planungsunterlage: Lageplan
 Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg.
 Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Höhenplan Tunnelröhre Süd, Zielschacht
 Maßstab: 1:1000/100; Stand: 28.10.2024, TenneT
- [12] Planungsunterlage: Lageplan
 Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg.
 Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Höhenplan Tunnelröhre Süd, Startschacht
 Maßstab: 1:1000/100; Stand: 29.10.2024, TenneT
- [13] Planungsunterlage: Lageplan
 Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt; Ltg.
 Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Höhenplan Tunnelröhre Nord, Zielschacht
 Maßstab: 1:1000/100; Stand: 29.10.2024, TenneT
- [14] Planungsunterlage: Lageplan
 Titel: Raitersaich-Ludersheim-Sittling-Altheim, 380-kV-Ersatzneubauprojekt;
 Ltg. Abschnitt A-Katzwang (LH-07-B170), Höhenplan Tunnelröhre Nord,
 Startschacht
 Maßstab: 1:1000/100; Stand: 29.10.2024, TenneT
- [15] Planungsunterlage: Querschnitt
 Titel: Doppel Tunnel Systemdarstellung
 Stand: 25.11.2024, TenneT
- [16] Nutzungsarten nach ATKIS-Basis-DLM Bayern, Bayerische Vermessungs-
 verwaltung – www.geodaten.bayern.de, CC BY 4.0, Datensatz:
https://geodaten.bayern.de/odd/m/2/basisdmlm/bkg_shape/bkg_shape_712.zip,
 Stand: Dezember 2024
- [17] Planungsunterlage: Schirmverbindungsplan
 Titel: Schirmverbindungsplan A070 Kabelabschnitt KÜA1 KA – WOLK – KÜA
 KA – KATW; Stand: 28.11.2024

3 Rechtliche Grundlage

3.1 26. BImSchV

Die 26. BImSchV enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder. Hinweise zur Messung und Berechnung finden sich in den Hinweisen zur Durchführung dieser Verordnung [2]. Gemäß dieser Verordnung gilt es, die Immission an den „maßgeblichen Immissionsorten“ zu betrachten. Maßgebliche Immissionsorte sind schutzbedürftige Gebäude oder Grundstücke. Es sind dies „Gebäude oder Grundstücke, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind“ und sich im unten genannten Bereich einer Anlage, nachfolgend als „auf maßgebliche Immissionsorte zu untersuchender Bereich“ bezeichnet, befinden. Dieses „Bestimmtsein“ ist dabei insbesondere aus der bauplanungsrechtlichen Einordnung des Grundstückes abzuleiten. Nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Personen dienen Orte, an denen die Verweilzeit des Einzelnen gering ist. Darunter fallen z. B. Bahnsteige und Bushaltestellen; diese sind keine maßgeblichen Immissionsorte.

In den LAI-Hinweisen finden sich pauschale Entfernungsangaben für den auf maßgebliche Immissionsorte zu untersuchenden Bereich von Niederfrequenzanlagen.

Für Erdkabel gilt, unabhängig von der Spannungsebene, ein auf maßgebliche Immissionsorte zu untersuchender Bereich von 1 m um das Kabel.

Für die Beurteilung sind die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln. Diese „höchste betriebliche Auslastung“ ist laut 26. BImSchV nicht durch die tatsächlich zu erwartende maximale Auslastung, sondern durch eine technische Grenze definiert, bei Erdkabeln beispielsweise durch den thermisch maximal zulässigen Dauerstrom und die Bemessungsspannung.

Die im Allgemeinen frequenzabhängigen Grenzwerte der 26. BImSchV betragen in diesem Fall – für Erdkabel mit einer festen Frequenz von 50 Hz – 100 µT für den Effektivwert der magnetischen Flussdichte bzw. 5 kV/m für den Effektivwert der elektrischen Feldstärke.

Sofern mehrere Frequenzen zu berücksichtigen sind, muss zusätzlich zur Einhaltung der jeweiligen Grenzwerte noch folgende Bedingung erfüllt sein:

Elektrische Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1$$

Magnetische Felder:

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1$$

Anmerkung:

Außerdem ist die Vorbelastung durch andere Nieder- und Hochfrequenzanlagen grundsätzlich zu berücksichtigen. Bei den Hochfrequenzanlagen genügt es dabei, ortsfeste Anlagen mit einer Sendeleistung von mehr als 10 Watt EIRP und Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich gegebenenfalls um Rundfunksender im Kurz-, Mittel- und Langwellenbereich. Gemäß [2] sind Anlagen zu betrachten, die sich näher als 300 m an der Niederfrequenzanlage befinden.

3.2 26. BImSchVVwV

Die allgemeine Verwaltungsvorschrift [3] konkretisiert die Vorsorgepflicht gemäß § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV [1]. Sie beschreibt die Anforderungen an Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen bei der Errichtung und wesentlichen Änderung, um die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

Die Umsetzung des Minimierungsgebots erfolgt in drei Teilschritten – einer Vorprüfung, ob überhaupt eine Minimierung erforderlich ist, anschließend, sofern eine solche erforderlich ist, einer Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und einer Maßnahmenbewertung.

Vorprüfung

Ein maßgeblicher Minimierungsort ist gemäß Nummer 2.11 der 26. BImSchVVwV [3] ein im Einwirkungsbereich der Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Absatz 1 der 26. BImSchV sowie jedes Gebäude oder jeder Gebäudeteil, das/der zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. Der Einwirkungsbereich von 380-kV-Erdkabeln beträgt 100 m (vgl. Nummer 3.2.1.2 der 26. BImSchVVwV [3]).

Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und Maßnahmenbewertung

Die Prüfung der Minimierung ist von der Lage der maßgeblichen Minimierungsorte abhängig. Liegt ein Minimierungsort innerhalb des sog. Bewertungsabstandes, so ist die Minimierung individuell auf diesen Minimierungsort durchzuführen. Der Bewertungsabstand eines 380-kV-Erdkabels beträgt 10 m. Liegt der Minimierungsort zwischen Bewertungsabstand und Einwirkungsbereich, also zwischen 10 m und 100 m Abstand vom äußeren Kabel, so ist ein Bezugspunkt im Bewertungsabstand, also in 10 m Abstand, zu wählen und auf diesen hin die Immission zu minimieren (vgl. Nummer 2.4 der 26. BImSchVVwV [3]). Bei dichter Bebauung und damit einer Vielzahl von Bezugspunkten können stattdessen ein oder mehrere repräsentative Bezugspunkte gewählt werden.

Bei einem Erdkabel sind grundsätzlich vier Minimierungsmaßnahmen zu prüfen: Minimieren der Kabelabstände, Optimieren der Leiteranordnung, Optimieren der Verlegegeometrie und Optimieren der Verlegetiefe (vgl. Nummer 5.3.2 der 26. BImSchVVwV).

4 Ergebnisse

4.1 Vorgehensweise Immissionsprognose

Für die Beurteilung der Immission des Kabels werden die magnetischen Felder für diejenigen Abschnitte berechnet, in denen auf maßgebliche Immissionsorte zu prüfenden Bereichen sich maßgebliche Immissionsorte befinden. Der auf maßgebliche Immissionsorte zu prüfende Bereich beträgt für 380-kV-Kabel 1 m im Radius um das Kabel. Entsprechend dieser Definition sind keine maßgeblichen Immissionsorte vorhanden und ein Nachweis wäre obsolet. Zur Information wurde dennoch die magnetische Flussdichte oberhalb der Kabel an Orten berechnet, welche zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind. Elektrische Felder müssen nicht berechnet werden, da diese durch die Kabelschirmungen effektiv abgeschirmt werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die unmittelbar oberhalb der Kabeltrasse ermittelten Orte aufgeführt, welche zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt sind. Die Berechnungshöhe betrug stets 0 m über Geländeoberkante.

Tabelle 1. Immissionsorte (IO) im Bereich der Kabeltrasse.

IO	Flurnummern	Gemeinde/Gemarkung	Nutzung nach DLM
1	235	Nürnberg/Katzwang	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche
2	235 / 21	Nürnberg/Katzwang	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche
3	107 / 29	Nürnberg/Katzwang	Wohnbaufläche
4	104	Nürnberg/Katzwang	Wohnbaufläche
5	104 / 7	Nürnberg/Katzwang	Wohnbaufläche

4.2 Berechnung der magnetischen Felder

4.2.1 Grundlagen

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm WinField EP auf Grundlage der DIN EN 50413 [4]. Modelliert werden die Anlagenteile, die wesentlich zur Immission magnetischer Felder beitragen. Es sind dies die Leiter.

Zur Berechnung der Immission werden dabei im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung der temporäre Überlaststrom von 2000 A pro System (im Folgenden als Modellstrom bezeichnet) der Leiter verwendet. Sonderereignisse, wie Kurzschlüsse in bestimmten Anlagenteilen, werden nicht betrachtet. Bei den betrachteten Anlagenteilen handelt es sich um Dreiphasensysteme.

4.2.2 Berechnungsunsicherheit

Die Unsicherheit der Feldberechnung beträgt gemäß [6] maximal 1,4 % und wird im Folgenden additiv berücksichtigt.

4.2.3 Modellbildung

Zur Berechnung der magnetischen Felder im Bereich der maßgeblichen Immissionsorte wurde die Kabeltrasse gemäß den Planungsunterlagen [7] bis [17] modelliert. Das Bodenprofil wurde mitberücksichtigt.

Für das Berechnungsmodell wurden folgende Parameter gewählt und Annahmen getroffen:

- **Erdkabel:**

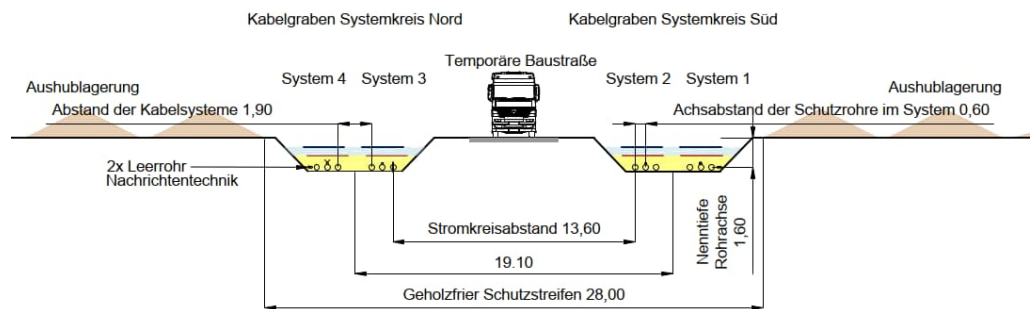


Abbildung 1. Verlegeprofil Kabeltrasse, Ausschnitt aus [7].

- Modellspannung: 420 kV, Modellstrom: **2000 A**
- Verlegeart: flach
- Verlegetiefe: 1,6 m
- Abstand der Kabelsysteme: 1,9 m
- Phasenabstand: 0,6 m
- Anzahl der Stromsysteme: 4

- Tunnel:

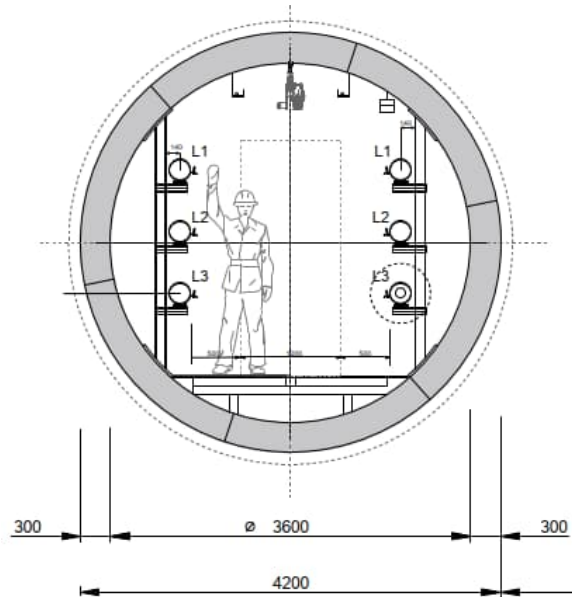


Abbildung 2. Systemdarstellung Tunnel, Ausschnitt aus [15].

- Modellspannung: 420 kV, Modellstrom: 2000 A pro System
- Verlegeart: flach, vertikal
- Abstand der Kabelsysteme: 2,2 m
- Phasenabstand: 0,62 m
- Anzahl der Stromsysteme: 4

Die Phasenlage wurde gemäß Schirmverbindungsplan [17] angenommen. Die Tunneltiefe wurde entsprechend den Unterlagen [11] bis [15] berücksichtigt.

Die Berechnungsauflösung beträgt 0,5 m x 0,5 m.

Hinweis:

Die Phasen L1, L2, L3 entsprechen einem linksdrehenden System, also 0°, 120° und 240°.

4.3 Berechnungsergebnisse

Für jeden Immissionsort oberhalb der Kabeltrasse (vgl. Tabelle 1) wurde die magnetische Flussdichte in 0 m Höhe ermittelt. In Tabelle 2 sind die Maximalwerte für alle Immissionsorte zusammengefasst. Die Nummerierung der Immissionsorte erfolgt von West nach Ost.

Anmerkung:

Innerhalb des auf maßgebliche Immissionsorte zu prüfenden Bereichs um die Schachtbauwerke befinden sich keine maßgeblichen Immissionsorte.

Tabelle 2. Rechnerisch ermittelte Maximalwerte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte an den Immissionsorten (vgl. Tabelle 1).

IO	Flurnummern	$B_{\max}$
1	235	6,0 μT
2	235 / 21	3,4 μT
3	107 / 29	2,2 μT
4	104	2,3 μT
5	104 / 7	2,2 μT

Die grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse über dem Lageplan ist im Anhang dargestellt.

4.4 Minimierungsmaßnahmen

4.4.1 Vorprüfung

Innerhalb des Einwirkungsbereichs von 100 m beidseitig der Kabeltrasse befinden sich insgesamt 29 maßgebliche Minimierungsorte (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 3). Von den 29 maßgeblichen Minimierungsorten befinden sich 10 innerhalb des Bewertungsabstandes von 10 m um die Kabeltrasse. Für diese ist eine individuelle Minimierungsprüfung erforderlich. Diese werden im Folgenden „individuelle Minimierungsorte“ (IMO) genannt.

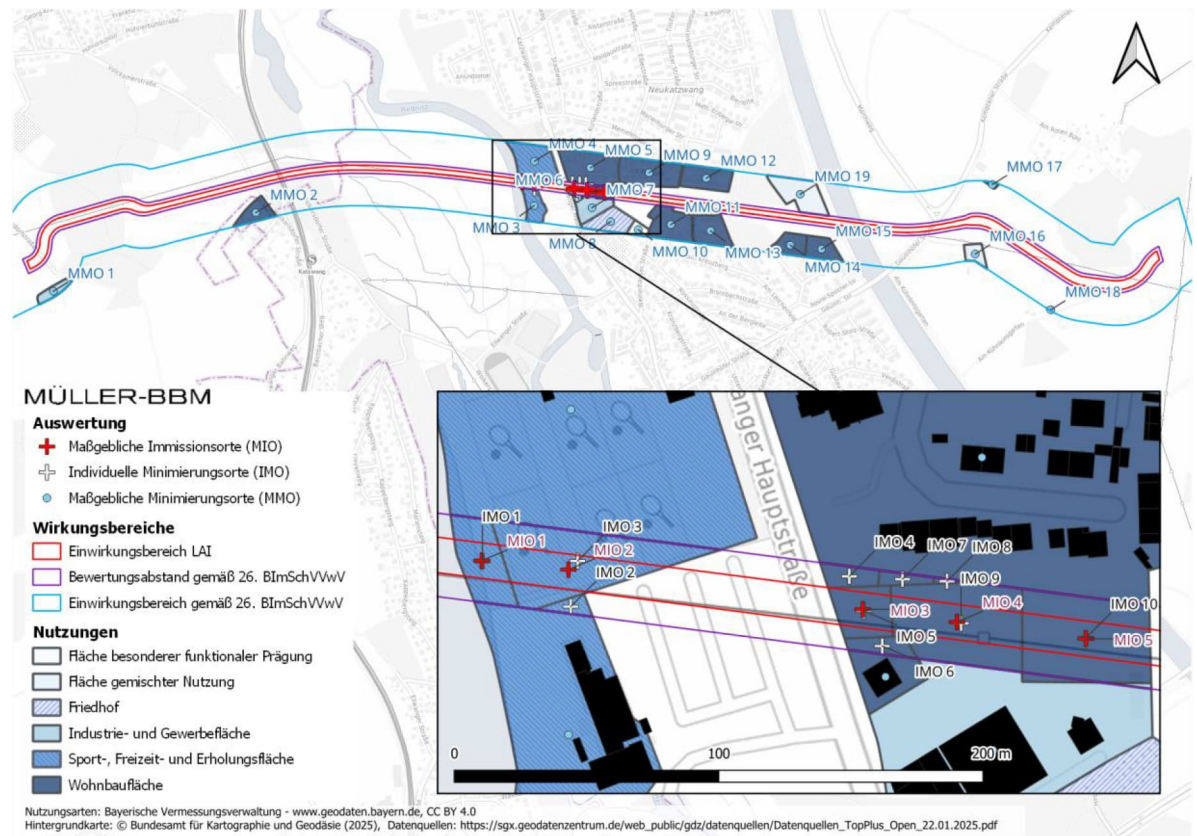


Abbildung 3. Karte mit eingezeichneten Immissionsorten, Individuellen Minimierungsorten und Maßgeblichen Minimierungsorten.

Maßgebliche Minimierungsorte, welche sich zwischen Bewertungsabstand und Einwirkungsbereich befinden, wurden je nach Nutzung und Lage zur Kabeltrasse zu gemeinsamen Minimierungspunkten, entsprechend dem jeweiligen Zentroid der Flurstücke, zusammengefasst.

Tabelle 3. Maßgebliche Minimierungsorte und Individuelle maßgebliche Minimierungsorte (IMO).

Nr.	Flurnummern	Hauptnutzung nach DLM	Abstand zur Bodenprojektion des äußeren Kabels
MMO			
1	612	Industrie- und Gewerbefläche	86 m
2	293 / 2, 293 / 5, 293, 294 / 4, 635 / 2, 635 / 3, 294, 294 / 5, 294 / 3	Wohnbaufläche	77 m
3	235 / 21, 235, 235 / 23	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	55 m
4	235 / 21, 235	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	55 m
5	104 / 32, 105 / 2, 104 / 6, 104 / 33, 104 / 24, 105 / 15, 104 / 22, 104 / 12, 104 / 7, 104 / 11, 104 / 10, 104 / 34, 104 / 15, 104 / 14, 104 / 13, 104, 104 / 8, 104 / 4, 104 / 9, 104 / 2, 104 / 20, 104 / 19, 107 / 4, 104 / 3, 104 / 5, 104 / 36, 104 / 23, 104 / 16, 104 / 18, 107 / 6, 235 / 27, 235 / 42	Wohnbaufläche	57 m
6	107 / 28	Wohnbaufläche	18 m
7	104 / 35, 104, 107 / 7	Industrie- und Gewerbefläche	41 m
8	639 / 4, 103 / 3, 103, 103 / 2	Friedhof	72 m
9	105 / 2, 104 / 6, 104 / 24, 105 / 15, 105 / 16, 105 / 17, 105 / 18, 105 / 19, 105 / 20, 105 / 10, 105 / 11, 105 / 12, 105 / 13, 105 / 9, 105 / 14, 104 / 11, 106 / 32, 105 / 23, 105 / 6, 105 / 7, 105 / 8, 97 / 2, 105 / 21, 97 / 1	Wohnbaufläche	64 m
10	103 / 10, 639 / 3	Fläche besonderer funktionaler Prägung	84 m
11	639 / 2, 95 / 24, 95 / 25, 95 / 32, 95 / 22, 95 / 3, 95 / 21, 95 / 45, 95 / 20, 95 / 33, 95 / 17, 95 / 43, 95 / 42, 95 / 30, 95 / 29, 95 / 28, 596 / 3, 95 / 40, 95 / 41, 95 / 31, 95 / 39, 95 / 4, 95 / 38, 98	Wohnbaufläche	59 m
12	650 / 44, 650 / 46, 652 / 32, 96 / 19, 652 / 31, 650 / 47, 652 / 33, 652 / 13, 652 / 14, 652 / 22, 652 / 4, 652 / 12, 652 / 15, 652 / 19, 652 / 20, 652 / 21, 652 / 28, 652 / 6, 652 / 29, 652 / 11, 652 / 10, 652 / 16, 652 / 17, 652 / 23, 652 / 9, 652 / 18, 652 / 30, 652 / 5, 96 / 18, 96 / 4, 96 / 5, 96 / 3, 652 / 7, 96 / 15, 96 / 16, 96 / 17, 96 / 8, 96 / 33, 96 / 32, 96 / 31, 96 / 30, 96 / 29, 96 / 7, 96 / 24, 96 / 25, 96 / 26, 96 / 27, 96 / 28, 96 / 23, 96 / 22, 96 / 21, 96 / 20, 96 / 9, 96 / 36, 96 / 35, 96 / 34, 96 / 6, 96 / 10, 96 / 11, 652 / 8, 652 / 3, 96 / 12, 96 / 1, 96 / 14, 96 / 13, 96 / 2	Wohnbaufläche	70 m

Nr.	Flurnummern	Hauptnutzung nach DLM	Abstand zur Bodenprojektion des äußeren Kabels
13	596 / 45, 95 / 17, 596 / 88, 596 / 122, 596 / 114, 596 / 87, 596 / 86, 596 / 80, 596 / 85, 596 / 84, 596 / 83, 596 / 77, 596 / 79, 596 / 82, 596 / 81, 596 / 130, 596 / 73, 596 / 74, 596 / 76, 95 / 36	Wohnbaufläche	62 m
14	600 / 5, 600 / 10, 600 / 9, 600 / 11, 600 / 13, 600 / 14, 600 / 19, 600 / 15	Wohnbaufläche	73 m
15	600 / 31, 600 / 24, 600 / 5, 600 / 14, 600 / 20, 600 / 23, 600 / 19	Wohnbaufläche	73 m
16	562, 610	Fläche gemischter Nutzung	81 m
17	623 / 5	Industrie- und Gewerbefläche	95 m
18	546 / 2	Fläche gemischter Nutzung	97 m
19	618	Fläche gemischter Nutzung	59 m
IMO			
1	235	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	5,4 m
2	235 / 23	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	7,3 m
3	235 / 21	Sport-, Freizeit- und Erholungsfläche	1,1 m
4	104 / 20	Wohnbaufläche	6,3 m
5	107 / 29	Wohnbaufläche	5,3 m
6	107 / 28	Wohnbaufläche	7,0 m
7	104 / 19	Wohnbaufläche	7,8 m
8	104 / 18	Wohnbaufläche	9,2 m
9	104	Wohnbaufläche	5,4 m
10	104 / 7	Wohnbaufläche	5,5 m

4.4.2 Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und Maßnahmenbewertung

4.4.2.1 Minimieren der Kabelabstände

Ziel der Maßnahme ist die Verringerung der magnetischen Felder durch Reduktion der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und der Stromkreise untereinander.

Die Maßnahme wird bei Neubaumaßnahmen bestmöglich umgesetzt. Voraussetzung ist die Beachtung von Mindestabständen, z. B. aufgrund der thermischen Belastbarkeit der Kabel. Die Wirksamkeit der Maßnahme ist hoch, kann aber zu einer Erwärmung des Bodens führen. Innerhalb des Tunnels begrenzt die Zugänglichkeit der Kabel deren Mindestabstände.

4.4.2.2 Optimieren der Verlegegeometrie

Die Kabel sollten so verlegt werden, dass sich die ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren. Dabei ist eine Verlegung im Dreieck günstiger als eine flache.

Die Optimierung der Verlegegeometrie ist bei Einzelleiterkabeln möglich, die Anforderungen an die Wärmeableitung machen im vorliegenden Fall eine Flachverlegung erforderlich. Die Wirksamkeit ist hoch, eine Verdrillung kann in Abhängigkeit der Schlaglänge die Felder zusätzlich reduzieren.

Der Abstand der Erdkabel ist von der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Erdreichs oder des Ersatzfüllguts abhängig.

Im Tunnel ist die Flachverlegung aufgrund der Zugänglichkeit und des Platzbedarfs notwendig.

4.4.2.3 Optimieren der Verlegetiefe

Die Erdkabel sollten so tief wie möglich im Boden verlegt werden. Dabei ist die vorhandene Infrastruktur und die Bodenbeschaffenheit zu beachten. Die Wirksamkeit hängt von der Verlegetiefe ab, sie nimmt mit zunehmendem Abstand zur Trasse ab. Im Rahmen der Optimierungsprüfung wurde die Verlegetiefe der Erdkabel von -1,6 m auf -1,7 m unter GOK erhöht. Da sich bei größerer Verlegetiefe auch die Wärmeabfuhr verschlechtern würde, können die Kabel bei diesem Vorhaben nicht noch tiefer verlegt werden.

Im Bereich der Kabelführung im Tunnel ist die Kabeltrasse bereits in großer Tiefe verlegt. Tunnelgradiente bzw. Tiefenlage wird durch geologische Randbedingungen bestimmt bzw. begrenzt.

4.4.2.4 Optimieren der Leiteranordnung

Bei vorgegebener geometrischer Anordnung der Kabel sollte die Anschlussreihenfolge der Leiter so gewählt, dass sich die emittierten magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Voraussetzung ist das Vorhandensein mehrerer Stromkreise. Die Wirksamkeit ist hoch und wird durch andere Parameter, wie die Leiterabstände, beeinflusst. Bei Leistungsflussumkehr kann die gefundene Phasenlage nicht mehr den Best-Case darstellen.

4.4.2.4.1 Ergebnisse

Gemäß Schirmverbindungsplan [17] hat die Kabeltrasse im ganzen Abschnitt (Erdkabel und Tunnel) stets die Phasenlage 123 123 123 123 (West nach Ost).

Die Phasenlage ist im Erdkabelabschnitt durch die Kabelübergabestation vorgegeben. Zudem stellt die Phasenlage 123 123 123 123 gemäß AG den Best-Case für die magnetische Flussdichte oberhalb des Kabelgrabens dar, wodurch auch der Grenzwert von 100 μT im gesamten für Personen zugänglichen Bereich oberhalb der Kabel ab einer Höhe von 0,2 m über GOK eingehalten wird.

Anhang

Horizontalschnitt der magnetischen Flussdichte in 0 m Höhe

\\S-muc-fs01\allefirmen\WIProj\182\182079\M182079_01_Ber_3D.DOCX:14. 04. 2025

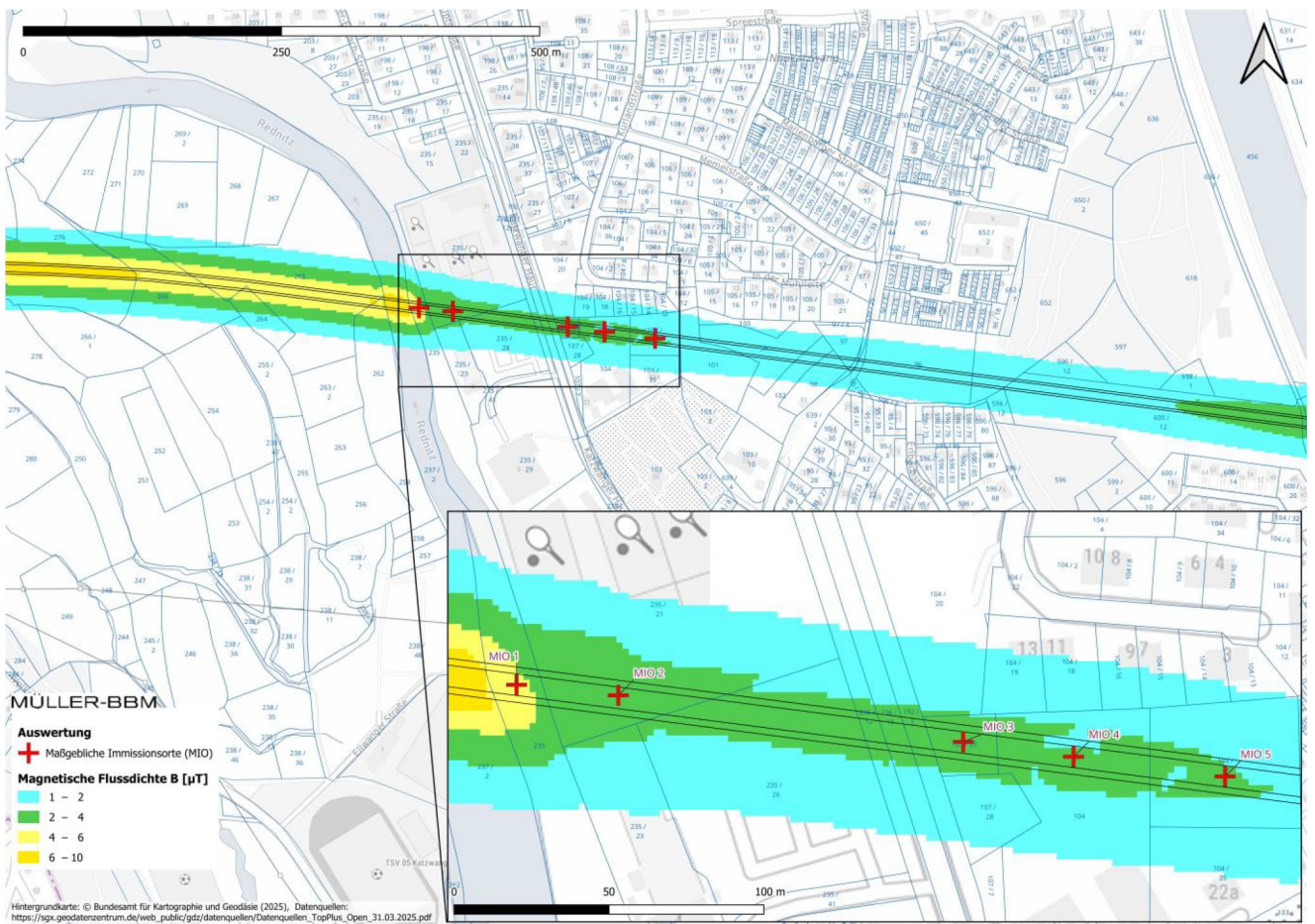


Abbildung: Horizontalschnitt der magnetischen Flussdichte in 0 m Höhe über GOK.