

380-kV- Höchstspannungsleitung Isar - Altheim, Abschnitt Umspannwerk Altheim bis Schaltanlage Isar, Ltg. Nrn. B175 und B176

*Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen
Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV
Anlage 8.1*

Auftraggeber

TenneT TSO GmbH
Bernecker Straße. 70
95448 Bayreuth
www.tennet.eu



Datum Freigabe	Titel	Geprüft	Freigabe
17.05.2024	380-kV- Höchstspannungsleitung Isar - Altheim, Abschnitt Umspannwerk Altheim bis Schaltanlage Isar, Ltg. Nrn. B175 und B176 <i>Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern mit Minimierungsbetrachtung nach 26. BImSchV</i>	i.A. Döpel	i.V. Hirschberg

Projekt	A810 Isar - Altheim
Abschnitt	Abschnitt 1: Altheim - Isar

Planfeststellungsunterlage

Immissionsbericht

Elektrische und magnetische Felder

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Verfahrensführende Behörde:	Regierung von Niederbayern - Sachgebiet 21 - Energiewirtschaft und Gewerbe Innere Münchener Straße 2 84028 Landshut
Antragsteller	TenneT TSO GmbH Bernecker Str. 70 95448 Bayreuth
Antragsunterlagen erstellt durch	Omexom Hochspannung GmbH Technikzentrum Anne Döpel / Marvin Pieper Prinz-Carl-Anlage 42 67547 Worms
Berichtsdatum	17.05.2024
Version	V1.0.0
Unterschrift TenneT TSO GmbH	Unterschrift Omexom Hochspannung GmbH

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
1 Einleitung und Hintergrund.....	8
1.1 Rechtliche Grundlagen und Anforderungen	11
1.2 Technische Grundlagen und Hintergründe	12
1.2.1 Elektrische Felder	12
1.2.2 Magnetische Felder.....	12
1.3 Nachweismethodik.....	13
2 Freileitungsabschnitte.....	15
2.1 Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte.....	15
2.2 Ermittlung der maßgeblichen Minimierungsorte	16
2.3 Nachweis der Anforderungen zum Schutz vor und Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen.....	22
2.4 Ermittlung und Prüfung der Immissionen und MMOs	23
2.5 Prüfung des Minimierungsgebotes.....	27
2.5.1 Abstandsoptimierung gemäß 5.3.1.1 der 26. BImSchVVwV	27
2.5.2 Elektrische Schirmung gemäß 5.3.1.2 der 26. BImSchVVwV	28
2.5.3 Minimieren der Seilabstände gemäß 5.3.1.3 der 26. BImSchVVwV	29
2.5.4 Optimieren der Mastkopfgeometrie gemäß 5.3.1.4 der 26. BImSchVVwV	29
2.5.5 Optimieren der Leiteranordnung gemäß 5.3.1.5 der 26. BImSchVVwV	30
2.5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Minimierungsprüfung der Freileitung	31
3 Kabelanlage.....	32
3.1 Problemstellung	32

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



3.2	Beschreibung der Parameter	32
3.2.1	Grabenprofil	33
3.2.2	Phasenreihenfolge:	34
3.2.3	Strombelastungsprofil.....	34
3.2.4	Schirmbehandlung:	34
3.2.5	Aufbau und Materialparameter der Kabel	34
3.3	Stromaufteilung und Schirmströme	35
3.3.1	Schirmbehandlung: Cross-Bonding.....	35
3.3.2	Nachbildung des Kabelsystems in ATP-EMTP	36
3.3.3	Berechnete Stromaufteilungen	37
3.4	Berechnung der magnetischen Eigenschaften	40
3.4.1	Analytische Berechnung der magnetischen Flussdichte	41
3.4.2	Berechnungsergebnisse.....	43
3.5	Zusammenfassung Kabelanlage	48
3.6	Prüfung des Minimierungsgebotes	48
3.6.1	Minimieren der Kabelabstände gemäß 5.3.2.1 der 26. BImSchVVwV	49
3.6.2	Optimieren der Leiteranordnung gemäß 5.3.2.2 der 26. BImSchVVwV	49
3.6.3	Optimieren der Verlegegeometrie gemäß 5.3.2.3 der 26. BImSchVVwV	50
3.6.4	Optimieren der Verlegetiefe gemäß 5.3.2.4 der 26. BImSchVVwV	50
3.6.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Minimierungsprüfung der Kabel	51
4	Zusammenfassung und Fazit	52
	Anhang.....	53
	Literaturverzeichnis für Freileitung.....	54

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar


Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
A	Ampere (Einheit für die Stromstärke)
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
26. BImSchVVwV	Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder
Hz	Hertz (Einheit für die Frequenz)
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung)
kV	Kilovolt (Einheit für die elektrische Spannung, 1 kV = 1000 V)
kV/m	Kilovolt pro Meter (Einheit für die elektrische Feldstärke E)
LAI	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
MIO	Maßgeblicher Immissionsort
MMO	Maßgeblicher Minimierungsort
μT	Mikrotesla (Einheit für die magnetische Flussdichte B, $1 \mu\text{T} = 1 \times 10^{-6} \text{T}$)
TEV	Teilerdverkabelungsabschnitt
UARN	Unterahrain
UW	Umspannwerk
WHO	Weltgesundheitsorganisation

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Stromkreise.....	10
Tabelle 2 Maßgebliche Immissionsorte für den Trassenverlauf gemäß LAI	15
Tabelle 3 Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf.....	18
Tabelle 4 Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf.....	20
Tabelle 5 Maßgebliche Minimierungsorte außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf	22
Tabelle 6 Berechnungsergebnisse (IMMI gemäß LAI)	25
Tabelle 7 Berücksichtigte Fremdanlagen.....	26
Tabelle 8 Leiterströme und induzierte Schirmströme bei der Höchstlast von 4 000 A pro Stromkreis.....	39
Tabelle 9 Berechnete magnetische Flussdichten an den Aufpunkten (IMMI gemäß LAI).....	46
Tabelle 10 TEV-Abschnitt - Art der betroffenen Nutzung	47

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Trassenverlauf der 380-kV-Leitung zwischen der Schaltanlage Isar und dem Umspannwerk Altheim [Ten2023a].....	9
Abbildung 2 Regelgrabenprofil mit 30-Grad-Böschung und 18 erdverlegten 380-kV-Kabeladern [Ome2022]	33
Abbildung 3 Schirmverbindungsplan gemäß der aktuellen Planung (Stand: 03.03.2023)	36
Abbildung 4 Skizze zur Veranschaulichung von Gleichung 4.2.....	42
Abbildung 5 Lotrechte Entfernung zwischen äußerer Ader (L11) und Aufpunkt	44
Abbildung 6 Verteilung der Magnetischen Flussdichte bei Station 300,01 in einer Höhe von 0,2 m oberhalb der GOK	45

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



1 Einleitung und Hintergrund

Durch die Forderung nach einem freien europäischen Stromhandel und durch den weiteren Ausbau regenerativer Energieerzeugungsanlagen entsteht ein stark zunehmender Bedarf an Übertragungskapazität im Bereich unseres Stromnetzes, dem in diesem Fall durch Netzverstärkungs-/ausbaumaßnahmen begegnet werden soll.

Im Rahmen der hier vorliegenden Planung ist die Neuerrichtung von 2 Freileitungen der TenneT TSO GmbH mit insgesamt 3 Stromkreisen vom Umspannwerk Altheim zur Schaltanlage Isar geplant. Die Leitungen verlaufen parallel. Bei der nördlichen Leitung handelt es sich um die LH-06-B175. Bei der südlichen Leitung handelt es sich um die LH-06-B176. Die Stromkreisbezeichnungen von Nord nach Süd sind AHM-IS 473, AHM-IS 474 und AHM-IS 475. Zudem werden 2 bestehende 110 kV- Stromkreise der Leitung B 57 der Bayernwerk Netz GmbH auf der LH-06-B175 mitgenommen. Bei den Stromkreisen handelt es sich um NAI 114 und NAI/GUM/GRHF/DGF 115.

Die Leitung wird in 3 Abschnitte unterteilt, bestehend aus 2 Freileitungs- und einem Teilerdverkabelungsabschnitt (TEV). Um den Übergang zwischen Freileitungen und Erdkabeln zu ermöglichen, sind zwei Kabelübergangsanlagen (KÜA) vorgesehen. An jeden Stromkreis der 380-kV-Höchstspannungsfreileitung werden zudem zwei parallel geschaltete Drehstromkabelsysteme angeschlossen, so dass sich insgesamt 18 Kabeladern (sechs Drehstromkabelsysteme mit je drei Adern) im Boden befinden werden.

Auf der nördlichen Leitung LH-06-B175 sind das 380 kV System AHM-IS 473 und die zwei 110 kV- Systeme NAI 114 und NAI/GUM/GRHF/DGF 115 der B57 aufgelegt.

Der 380 kV- Stromkreis AHM-IS 473 geht vom Portal C17 über den Mast 1A bis zum Portal OHU_W der Kabelanlage, wo der TEV-Abschnitt beginnt. Die zuvor genannten, mitgeführten 110 kV- Stromkreise werden vor dem TEV-Abschnitt via dem Mast B57/5 auf die Bestandsstrasse der B57 geführt.

Auf der südlichen Leitung LH-06-B176 werden die zwei 380 kV- Stromkreise AHM-IS 474 und AHM-IS 475 aufgelegt. Diese verlaufen im ersten Teilabschnitt der Leitungstrasse von den Portalen C18 und C21 über den Mast 1B zu den Portalen KA_OHU_M und OHU_O der Kabelanlage.

Der geplante TEV-Abschnitt hat eine Länge von ca. 4,27 km und nimmt einen östlichen Verlauf. Dabei erfolgt eine Unterquerung der geplanten Bundesstraße B15N. Der TEV- Abschnitt geht auf Höhe des Ortsteils Unterharrain der Gemeinde Essenbach wieder in eine Freileitung über. Dies erfolgt an der Kabelübergangsanlage Unterharrain (KÜA UARN).

Nach dem TEV- Abschnitt wird der Stromkreis AHM-IS 474 auf die Leitung LH-06-B175 geführt. Dementsprechend werden der Stromkreis AHM-IS 473 vom Portal UARN_W der Kabelanlage und der Stromkreis AHM-IS 474 vom Portal UARN_M der Kabelanlage auf den Mast

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



5A der Leitung LH-06-B175 geführt. Des Weiteren wird auch die Bestandsleitung B 57 mit den zwei 110 kV- Stromkreisen NAI 114 und NAI/GUM/GRHF/DGF 115 auf den Mast 5A der Leitung LH-06-B175 geführt.

Das System AHM-IS 475 verläuft weiterhin auf der Leitungstrasse LH-06-B176. Dabei wird vom Portal UARN_O der Kabelanlage der Mast 5B angesprungen. Beide Leitungstrassen nehmen einen östlichen Verlauf und durchqueren dabei das Areal des Kernkraftwerkes Isar 2. Von den Masten 7A und 7B springen die Leitungen LH-06-B175 und 176 dann die Schaltanlage Isar an. Die zwei 110 kV- Stromkreise 114 und 115 der Leitung B57 werden über den Mast B117/1 auf die Leitung B117 in Richtung Osten geführt.

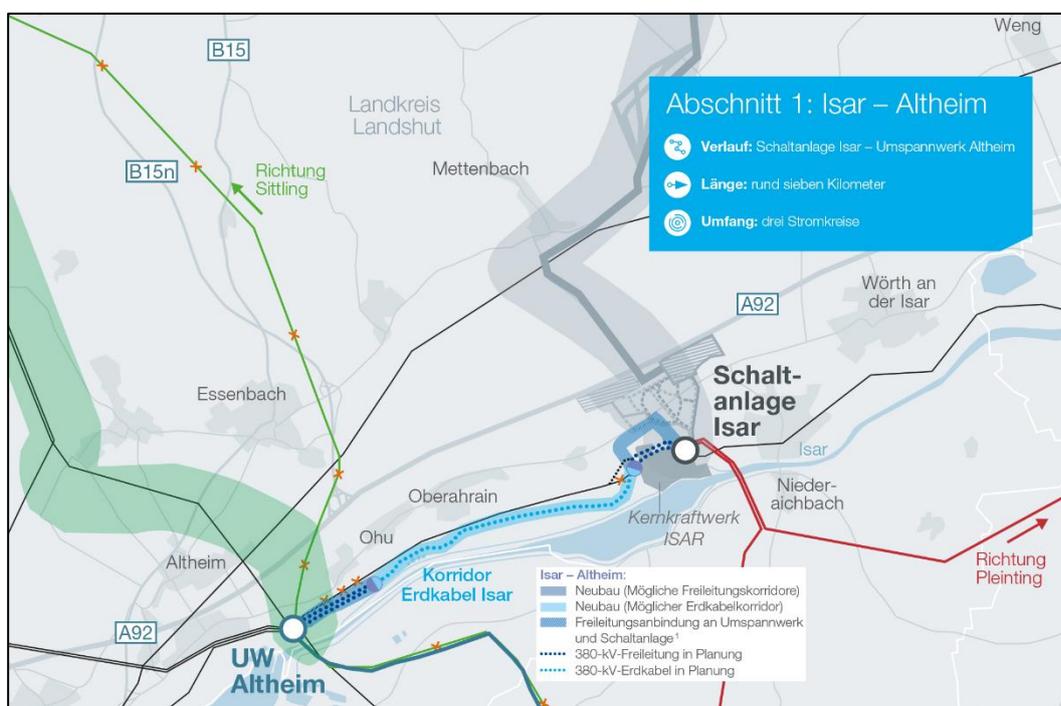


Abbildung 1 Trassenverlauf der 380-kV-Leitung zwischen der Schaltanlage Isar und dem Umspannwerk Altheim [Ten2023a]

Für die im Rahmen dieses Planfeststellungsverfahrens betrachtete Leitungsanlage gelten damit folgende für die weiteren Betrachtungen relevanten Parameter:

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Stromkreis	Bereich	Spannung (Kilovolt)	Maximal betrieblicher Dauerstrom (Ampere)
AHM-IS 473	C17 bis C05	420kV	4000 A
TEV AHM-IS 473	KA_OHU_W bis KA_UARN_W	420 kV	4000 A je Doppelsystem
AHM-IS 474	C18 bis C03	420kV	4000 A
TEV AHM-IS 474	KA_OHU_M bis KA_UARN_M	420 kV	4000 A je Doppelsystem
AHM-IS 475	C21 bis C01	420 kV	4000 A
TEV AHM-IS 475	KA_OHU_O bis KA_UARN_O	420 kV	4000 A je Doppelsystem
NAI 114	Mast 1a bis Mast 4A -Rückkehr auf Bestandstrasse B57 – 5A bis Mast B117/1	123 kV	2216 A
NAI/GUM/GRHF/DGF 115	Mast 1a bis Mast 4A-Rückkehr auf Bestandstrasse B57 – 5A bis Mast B117/1	123kV	2216 A

Tabelle 1 Stromkreise

Von Stromübertragungsanlagen und -leitungen gehen aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiter elektrische und magnetische Felder aus. Es handelt sich hierbei um Wechselfelder mit einer Frequenz von 50 Hertz (Hz). Diese Frequenz ist dem Niederfrequenzbereich zugeordnet.

Das elektrische Feld resultiert aus der Betriebsspannung und das magnetische Feld resultiert aus dem Stromfluss. Wegen der schirmenden Wirkung des Kabelmantels und des überdeckenden Erdreichs treten im Bereich des TEV keine elektrischen, sondern nur magnetische Felder auf. Die physikalischen Grundlagen sind in den Kapiteln 1.2.1 und 1.2.2 näher erläutert.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Dieser Immissionsbericht widmet sich, entsprechend den zuvor dargelegten Sachverhalten, den von den Höchstspannungsfreileitungen und -erdkabeln ausgehenden elektrischen und magnetischen Feldern.

1.1 Rechtliche Grundlagen und Anforderungen

Im Rahmen der Antragstellung sind u.a. die Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) [1] zu beachten. Bei einer Höchstspannungs-Freileitung mitsamt Zwischenverkabelungsabschnitt handelt es sich nach § 4 Abs. 1 BImSchG [1] in Verbindung mit der 4. BImSchV [2] um eine nicht genehmigungsbedürftige Anlage.

Hinsichtlich dieser elektrischen und magnetischen Felder sind die Anforderungen der Sechszwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) [2] zu beachten.

Für die beschriebene Maßnahme sind, weil es sich dabei um eine Neuerrichtung im Sinne der 26. BImSchV [2] handelt, die mit dem Vorhaben verbundenen elektrischen und magnetischen Felder darzustellen und hinsichtlich der Einhaltung vorgeschriebener Grenzwerte zu beurteilen. Für den Zwischenverkabelungsabschnitt ist dabei jeweils nur das vom Höchstspannungs-erdkabel ausgehende magnetische Feld darzustellen und zu bewerten, da das elektrische Feld vollständig abgeschirmt wird.

Gemäß 26. BImSchV [2] sind für das vorliegende Vorhaben an Orten zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen im Einwirkungsbereich der Anlage folgende Grenzwerte einzuhalten:

- Elektrische Feldstärke: 5 kV/m
- Magnetische Flussdichte: 100 μ T

Im Zusammenhang mit den anzustellenden Betrachtungen zur 26. BImSchV [2] sind die von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [3] erlassenen Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder zu beachten. Die LAI verfolgt dabei einen Schutzgrundsatz.

Die 26. BImSchV [2] enthält in § 4 auch über den Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen hinausgehende Anforderungen zur Vorsorge durch Minimierung (Vorsorgegrundsatz).

Näheres dazu regelt die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) [4].

1.2 Technische Grundlagen und Hintergründe

1.2.1 Elektrische Felder

Wesentlicher Parameter für die Stärke des elektrischen Feldes ist die Betriebsspannung. Darüber hinaus spielt für die bodennahe Feldstärke in der Umgebung einer Freileitung die Anzahl, Abstände und Anordnung der Systeme zueinander (Mastkopfgeometrie), der Abstand der Leiter zum Boden sowie die Anordnung der Phasen eine wichtige Rolle. Zudem hat auch der Leitertyp und Bündelkonfiguration sowie die Anzahl und Anordnung der Erdseile einen geringen Einfluss. Durch diese Parameter wird insbesondere der Verlauf der Feldstärke in unmittelbarer Nähe der Freileitung bestimmt. Mit zunehmendem Abstand von der Freileitung nimmt die elektrische Feldstärke rasch ab und auch der Einfluss dieser Parameter wird geringer. Elektrische Felder können mithilfe elektrisch leitfähiger Materialien, z.B. durch Bewuchs oder Bebauung gut abgeschirmt werden. Wegen der schirmenden Wirkung des Kabelmantels und des überdeckenden Erdreichs treten daher auch im Bereich des Zwischenverkabelungsabschnitts keine elektrischen Felder auf.

Die Stärke eines elektrischen Feldes wird als elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m) angegeben.

1.2.2 Magnetische Felder

Wesentlicher Parameter für die Stärke des magnetischen Feldes ist die Stromstärke, welche in Abhängigkeit der Belastungssituation zeitlichen Schwankungen unterliegt. Darüber hinaus spielt für die bodennahe Feldstärke in der Umgebung einer Freileitung die Anzahl, Abstände und Anordnung der Systeme zueinander (Mastkopfgeometrie), der Abstand der Leiter zum Boden sowie die Anordnung der Phasen eine wichtige Rolle. Für die bodennahe magnetische Feldstärke in der Umgebung eines Erdkabels spielen ebenso die Anzahl, die Abstände und Anordnung der Systeme zueinander, der Abstand der Leiter zur Erdoberkante (Überdeckung) sowie die Anordnung der Phasen eine wichtige Rolle. Auch die magnetische Feldstärke nimmt mit zunehmendem Abstand zur Anlage ab.

Im Gegensatz zu den elektrischen Feldern durchdringen magnetische Felder organische und anorganische Materialien nahezu ungestört.

Bei niederfrequenten Feldern wird als zu bewertende Größe die magnetische Flussdichte B angegeben. Die ermittelten Werte werden in Mikrotesla (μT) angegeben.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



1.3 Nachweismethodik

Entsprechend den Regelungen in § 5 der 26. BImSchV [2] sind für die Ermittlung der Feldstärke- und Flussdichtewerte an den maßgeblichen Einwirkungsorten keine Messungen erforderlich, wenn die Einhaltung der Grenzwerte durch Berechnungsverfahren festgestellt werden kann. Dementsprechend wird das Berechnungsverfahren mit der zertifizierten Software Win-Field durchgeführt, die den Anforderungen an Mess- und Berechnungsverfahren nach DIN EN 50413 [5] (siehe Anhang 3) entspricht. Hierzu werden in dem Berechnungsprogramm die Leitungsabschnitte als Feldquelle modelliert.

Für die Berechnung der Immissionswerte werden durchgängig konservative Ansätze gewählt. Es werden somit Feldstärke- und Flussdichtewerte ermittelt, die über den im Betrieb zu erwartenden Werten liegen.

Für die Betriebsparameter ist die höchste betriebliche Anlagenauslastung zu Grunde zu legen. Dies bedeutet, dass folgende Betriebsspannungen in die Berechnung einfließen:

- für 380-kV-Systeme 420 kV,
- für 110-kV-Systeme 123 kV.

Zudem wird für die Strombelastbarkeit der maximale betriebliche Dauerstrom eines Systems herangezogen.

Diese Parameter werden sowohl für die beantragte Leitungsanlage als auch für alle zu berücksichtigenden Niederfrequenzanlagen, wie z.B. andere Freileitungen angenommen.

Berücksichtigte Fremdleitungen und/oder Mitführungen werden in Tabelle 7 Berücksichtigte Fremdanlagen aufgeführt. Die Immissionsbeiträge dieser anderen relevanten Niederfrequenzanlagen wurden beim jeweiligen Betreiber erfragt und ihre Immissionsbeiträge im Berechnungsprogramm berücksichtigt. Bei der hier vorliegenden Planung handelt es sich um die mitgeführte Bayernwerk- Leitung B57 mit deren Ansprüngen.

Nach 26. BImSchV [2] sind auch Immissionen ortsfester Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich 9 kHz bis 10 MHz zu berücksichtigen. Diese tragen gemäß den Ausführungen in den LAI-Durchführungshinweisen [3] ab einem Abstand von 300 Metern nicht relevant zur Vorbelastung bei und machen daher eine gezielte Vorbelastungsermittlung entbehrlich, sofern keine gegenteiligen Anhaltspunkte bestehen. Für den Trassenverlauf sind laut EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur, welche am 19.10.2023 aufgerufen wurde, (<https://emf3.bundesnetzagentur.de/karte/>) keine entsprechenden zu berücksichtigenden Hochfrequenzanlagen in diesem Abstand vorhanden, sodass dieser Aspekt hier nicht weiter zu betrachten ist.

Die Stromrichtung ist abhängig von der jeweiligen vorherrschenden Netzsituation. Für die vorliegenden Berechnungen wurde die Stromrichtung von UW Altheim (Westen) nach Schaltanlage Isar (Osten) angesetzt.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



In den Berechnungen werden die Immissionen der Grundfrequenz (50 Hz) ermittelt. In Hoch- und Höchstspannungsnetzen sind Oberwellenanteile (z.B. 100 Hz, 150 Hz) sehr gering. Deren zusätzliche Immissionsbeiträge sind gegenüber den Immissionen der Grundfrequenz zu vernachlässigen und werden daher im Weiteren nicht betrachtet.

Die für die Ermittlung der Immissionsorte notwendigen Geodaten wurden bei den zuständigen Ämtern abgefragt.

2 Freileitungsabschnitte

2.1 Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte

Bei der Ermittlung der maßgeblichen Immissionsorte sind die Anforderungen der 26. BImSchV [2] und die zugehörigen Ausführungen in den LAI-Durchführungshinweisen [3] zu beachten (siehe auch Kapitel 1.1).

Die maßgeblichen Immissionsorte (MIO), liegen bei Betroffenheiten im Bewertungsabstand vor und werden in den Tabellen mit „IMMI“ bezeichnet. Der zuvor genannte Bewertungsabstand gemäß 26. BImSchV bzw. 26. BImSchVVwV entspricht dabei dem Einwirkungsbereich der LAI. Maßgebliche Immissionsorte sind Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt, die sich in einem Abstand von bis zu 20 m zum äußersten ruhenden Leiter einer 380-kV-Freileitung befinden. Die äußeren ruhenden Leiterseile befinden sich je nach Masttyp in einem Abstand von maximal 21,70 Metern zur Trassenachse.

Um für den Trassenverlauf (eine kartographische Darstellung der Anlage ist in den Übersichtsplänen (Planfeststellungsunterlage 4) zu finden) die maßgeblichen Immissionsorte zu ermitteln, wurde der gesamte Verlauf auf entsprechende Orte mit Hilfe von Luftbildern und durch Trassenbefahrung abgesucht. Dabei wurden folgende maßgeblichen Immissionsorte identifiziert:

Maßgebliche Immissionsorte für den Trassenverlauf				
Lfd. Nr.	Trasse	Bereich	Gemarkung	Abstand MIO zur Trassenachse
IMMI_01	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Ohu	0 m
IMMI_02	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Ohu	30,03 m
IMMI_03	B176	Mast 6B bis Mast 7B	Ohu	25,97 m
IMMI_04	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Ohu	8,27 m

Tabelle 2 Maßgebliche Immissionsorte für den Trassenverlauf gemäß LAI

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Bei den in Tabelle 2 Maßgebliche Immissionsorte für den Trassenverlauf aufgelisteten maßgeblichen Immissionsorten handelt es sich zum Teil um gemischt genutzte Grundstücke, so dass nicht das Flurstück im Ganzen in die Betrachtung einbezogen wurde, sondern nur der dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt dienliche Teil des Grundstückes.

2.2 Ermittlung der maßgeblichen Minimierungsorte

Bei der Ermittlung der maßgeblichen Minimierungsorte wurden die in der 26. BImSchVVwV [4] genannten konservativen Pauschalwerte für den Einwirkungsbereich von 400 m bei einer 380-kV-Freileitung bzw. bei einer 110-kV-Freileitung von 200 m herangezogen. Bei der Berechnung wurden einzelne Orte (singuläre Bezugspunkte) und Gruppierung von Orten (über Cluster und deren entsprechende Relative Bezugspunkte) betrachtet.

Analog zum Kapitel 2.1 wurde der gesamte Verlauf der Leitung mit Hilfe von Luftbildern und Trassenbefahrung abgesucht. Dabei wurden in folgenden Bereichen maßgebliche Minimierungsorte zusätzlich zu den in Tabelle 2 aufgelisteten maßgeblichen Immissionsorten ermittelt:

Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf							
Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäude zur Trassenachse	Abstand Grundstück zur Trassenachse
BP_01	B175	Portal auf Mast 1A	Kraftwerkstr. 22, 84051 Essenbach	Altheim, Ohu	Betriebsgebäude Wasserkraftwerk	336,60 m	267,38 m
BP_02	B175	Mast 1a bis Mast 1A	Kraftwerkstr. 22, 84051 Essenbach	Altheim, Ohu	Betriebsgebäude UW Altheim	277,68 m	263,55 m
BP_03	B175	Mast 1A bis Mast 2A	Landshuter Str. 119 84051 Essenbach	Altheim	Lagerschuppen	147,19 m	129,38 m

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf							
Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäude zur Trassenachse	Abstand Grundstück zur Trassenachse
BP_04	B176	Mast 2B bis Mast 3B	Im Wald	Ohu	Geräteschuppen	63,36 m	0 m
BP_05	B175	Mast B57/5	Fliederstraße 6, 84051 Essenbach	Ohu	Wohn- und Gewerbegebäude	244,97 m	232,61 m
BP_06	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Dreierweg 2, 84051 Essenbach	Mettenbach	Wohngebäude	415,17 m	403,80 m
BP_07	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Landstraße 3, 84100 Niederaichbach	Niederaichbach	Wohngebäude	407,76 m	395,94 m
BP_08	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Landstraße 6, 84100 Niederaichbach	Niederaichbach	Wohngebäude	397,74 m	390,13 m
BP_09	B175	Mast 7A bis Mast B117/1	Rinnenweg 9, 84100 Niederaichbach	Niederaichbach	Wohn- und Gewerbegebäude	273,27 m	264,13 m
BP_10	B175	Mast 7A bis Mast B117/1	Landstraße 12, 84100 Niederaichbach	Niederaichbach	Wohngebäude	422,99 m	416,54 m

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf							
Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäude zur Trassenachse	Abstand Grundstück zur Trassenachse
BP_11	B151	Mast 3 bis Mast 3	Gretlmühle 13, 84036 Landshut	Frauenberg	Wohngebäude	217,82 m	217,82 m

Tabelle 3 Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf

Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf							
Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäudecluster zur Trassenachse	
RBP_01	B175	Mast 1a bis Mast 1A	Bayernwerk- siedlung 7, 84051 Es- senbach	Ohu	Wohngebäude	191,36 m	
RBP_02	B175	Mast 1A bis Mast 2A	Landshuter Str. 119, 84051 Es- senbach	Ohu	Wohngebäude	117,34 m	
RBP_03	B175	Mast 2A bis Mast 3A	Landshuter Str. 102 84051 Es- senbach	Ohu	Wohngebäude	198,60 m	

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf

Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäudecluster zur Trassenachse
RBP_04	B175	Mast 3A bis Mast 4A	Landshuter Str. Nr. 4 – 97b; 84051 Essenbach	Ohu	Wohngebäude	168,92 m
RBP_05	B175	Mast 4A – KA_OH U_W	Fischerstraße 2 – Landshuter Str. 71a84051 Essenbach	Ohu	Wohngebäude	180,84 m
RBP_06	B175	Mast 4A – Mast B57/5	Fischerstraße 2 – Landshuter Str. 71a 84051 Essenbach	Ohu	Wohngebäude	128,98 m
RBP_07	B175	Mast B57/5	Landshuter Str. 65, 84051 Essenbach	Ohu	Gewerbeareal	346,54 m
RBP_08	B175	Mast 4A – Mast B57/5	Fliederstraße 10, 84051 Essenbach	Ohu	Gewerbeareal	305,37 m
RBP_09	B175	KA_UA RN_W	Lippenstraße 98 und	Ohu	Hof	245,33 m

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf

Lfd. Nr. (berechnet am BP)	Trasse	Bereich	Immissionsort	Gemarkung	Art der Nutzung	Abstand Gebäudecluster zur Trassenachse
		bis Mast 5A	Schneiderweg 17, 84051 Essenbach			
RBP_10	B175	Mast B57/21 neu bis Mast 5A	Lippenstraße 98 und Schneiderweg 17, 84051 Essenbach	Ohu	Hof	244,94 m
RBP_11	B175	Mast 5A bis Mast 6A	Lippenstraße 98 und Schneiderweg 17, 84051 Essenbach	Ohu	Hof mit Gewerbeareal	231,60 m
RBP_12	B175	Mast 6A bis Mast 7A	Lippenstraße 96, 84051 Essenbach	Niederöbach	Wohngebäude	65,84 m

Tabelle 4 Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf

Bezeichnung	Trasse	Bereich	Maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Blickrichtung von UW Altheim (West) → UW Isar (Ost))	
			links	rechts
Singuläre Maßgebliche Minimierungsorte				

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Bezeichnung	Trasse	Bereich	Maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Blickrichtung von UW Altheim (West) → UW Isar (Ost))	
			links	rechts
BP_01	B 175	Portal auf Mast 1A	x	
BP_02	B 175	Mast 1a bis 1A		x
BP_03	B 175	Mast 1A – 2A	x	x
BP_04	B 176	Mast 2B - 3B		x
BP_05	B 175	Mast B57/5		x
BP_06	B 175	Mast 6A – 7A	x	
BP_07	B 175	Mast 6A – 7A	x	
BP_08	B 175	Mast 6A – 7A	x	
BP_09	B 175	Mast 7A – B117/1	x	
BP_10	B 175	Mast 7A – B117/1	x	
BP_11	B151	Mast 3 – 3		x
Cluster Maßgebliche Minimierungsorte				
RBP_01	B 175	Mast 1a bis Mast 1A	x	
RBP_02	B 175	Mast 1A bis Mast 2A	x	
RBP_03	B 175	Mast 2A bis Mast 3A	x	
RBP_04	B 175	Mast 2B bis Mast 3B	x	
RBP_05	B 175	Mast 4A – KA_OHU_W	x	

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Bezeichnung	Trasse	Bereich	Maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich (Blickrichtung von UW Altheim (West) → UW Isar (Ost))	
			links	rechts
RBP_06	B 175	Mast 4A – Mast B57/5	x	
RBP_07	B 175	Mast B57/5		x
RBP_08	B 175	KA_OHU_W	x	
RBP_09	B 175	KÜA KA_UARN_W bis Mast 5A	X	
RBP_10	B 175	Mast B57/21 neu bis Mast 5A	x	
RBP_11	B 175	Mast 5A bis Mast 6A	x	
RBP_12	B 175	Mast 6A bis Mast 7A	x	

Tabelle 5 Maßgebliche Minimierungsorte außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf

2.3 Nachweis der Anforderungen zum Schutz vor und Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen

Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 1.1 ist zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen der Nachweis zu erbringen, dass im Bewertungsabstand sowie Einwirkungsbereich der zu betrachtenden Anlage an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, die Grenzwerte für die elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte eingehalten werden.

Die Immissionen werden bei Freileitungsabschnitten in der Regel in einer Höhe von 1 m über Erdoberkante (EOK) ermittelt. Befinden sich Gebäude oder Gebäudeteile auf dem zu betrachtenden Grundstück, so wird an dem nächstgelegenen Punkt eine Berechnung der Feldstärken durchgeführt. Die Berechnung der Feldstärken der Maßgeblichen Minimierungsorten wurde am Bewertungsabstand vorgenommen und dementsprechend ein Worst-Case-Szenario zugrunde gelegt. Damit wird ein Einhalten der Grenzwerte belegt. Dabei wird im Bereich von

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Freileitungen insbesondere auch die tatsächliche Gebäudehöhe zur Ermittlung der Feldstärken im Bewertungsabstand herangezogen. Wie bereits dargelegt, sind die Feldstärken stark abstandsabhängig. Die größten Feldstärken werden bei dem geringsten Abstand des betrachteten Ortes von der Feldquelle, d. h. der Anlage, erreicht. Für ein zu betrachtendes Freileitungsspannungsfeld ist dies in der Regel am Ort des geringsten Bodenabstands der Leiterseile der Fall. Dies ist somit von der örtlichen Topographie abhängig, wird aber bei ebenem Gelände etwa in Spannungsfeldmitte erreicht.

Funkenentladungen und ähnliche Wirkungen sind aufgrund der Einhaltung des Grenzwertes der elektrischen Feldstärke nicht zu erwarten.

2.4 Ermittlung und Prüfung der Immissionen und MMOs

Für jeden MIO und MMO wurden die dort unter der Freileitung in einer Berechnungshöhe von einem Meter über EOK maximal zu erwartenden elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten mit Hilfe des Programms WinField berechnet. Die maximal zu erwartenden Stärken des elektrischen Feldes und der magnetischen Flussdichte in der nachfolgenden Tabelle 6 Berechnungsergebnisse angegeben und bewertet. Die Lage der Bezugs- und Minimierungspunkte kann dem Übersichtsplan EMF (Anhang 2) entnommen werden.

Berechnungsergebnisse Grenzwerte			
Lfd. Nr.	Maximalwert auf dem Flurstück		Grenzwerte eingehalten
	Elektrische Feldstärke (in kV/m)	Magnetische Feldstärke (in μ T)	ja/nein
Singuläre Maßgebliche Minimierungsorte			
BP_01	0,3 kV/m	2,9 μ T	ja
BP_02	0,0 kV/m	1,4 μ T	ja
BP_03	0,3 kV/m	6,0 μ T	ja
BP_04	0,8 kV/m	11,7 μ T	ja

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Berechnungsergebnisse Grenzwerte			
Lfd. Nr.	Maximalwert auf dem Flurstück		Grenzwerte eingehalten
	Elektrische Feldstärke (in kV/m)	Magnetische Feldstärke (in μT)	ja/nein
BP_05	0,0 kV/m	1,1 μT	ja
BP_06	0,9 kV/m	12,9 μT	ja
BP_07	1 kV/m	13,9 μT	ja
BP_08	0,5 kV/m	7,5 μT	ja
BP_09	0,3 kV/m	5,5 μT	ja
BP_10	0,3 kV/m	4,3 μT	ja
BP_11	0,0 kV/m	1,3 μT	ja
Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte)			
RBP_01	0,1 kV/m	1,2 μT	ja
RBP_02	0,2 kV/m	5,9 μT	ja
RBP_03	0,2 kV/m	6,4 μT	ja
RBP_04	0,2 kV/m	5,9 μT	ja
RBP_05	0,3 kV/m	13,0 μT	ja
RBP_06	0,5 kV/m	9,3 μT	ja
RBP_07	0,0 kV/m	1,1 μT	ja
RBP_08	0,1 kV/m	0,8 μT	ja
RBP_09	0,9 kV/m	8,9 μT	ja

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Berechnungsergebnisse Grenzwerte			
Lfd. Nr.	Maximalwert auf dem Flurstück		Grenzwerte eingehalten
	Elektrische Feldstärke (in kV/m)	Magnetische Feldstärke (in μT)	ja/nein
RBP_10	0,5 kV/m	7,6 μT	ja
RBP_11	0,6 kV/m	8,4 μT	ja
RBP_12	1,0 kV/m	13,9 μT	ja
Maßgebliche Immissionsorte			
IMMI_01	1,1 kV/m	37,6 μT	ja
IMMI_02	1,0 kV/m	15,7 μT	ja
IMMI_03	0,4 kV/m	5,7 μT	ja
IMMI_04	0,6 kV/m	16,4 μT	ja

Tabelle 6 Berechnungsergebnisse (IMMI gemäß LAI)

Nach II.3.4 der LAI-Durchführungshinweise [3] tragen bei diesem Vorhaben folgende weitere Niederfrequenzanlagen relevant zur Vorbelastung bei:

Berücksichtigte Fremdanlagen		
Bereich der hier zu betrachtenden Leitungsanlage	Anlagenname Fremdanlage	Betreiber
Mast 1a bis Mast 4A -Rückkehr auf Bestandstrasse B57 – 5A bis Mast	B57 (110-kV-Freileitung) NAI/GUM/GRHF/DGF 115	Bayernwerk Netz GmbH

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Berücksichtigte Fremdanlagen		
Bereich der hier zu betrachtenden Leitungsanlage	Anlagenname Fremdanlage	Betreiber
B117/1 (Mitführung).		
Mast 1a bis Mast 4A -Rückkehr auf Bestandstrasse B57 – 5A bis Mast B117/1 (Mitführung).	B57 (110-kV-Freileitung) NAI 114	Bayernwerk Netz GmbH
Beginnend bei Mast 3 der B151, weiter über die Maste 2 und 3 der B58, Verkabelung und Übergang ins UW Altheim.	B58 (110-kV-Freileitung) HAUN/BODK/WIN 158	Bayernwerk Netz GmbH
Beginnend bei Mast 3 der B151, weiter über die Maste 2 und 3 der B58, Verkabelung und Übergang ins UW Altheim.	B58 (110-kV-Freileitung) HAUN/VIB 153	Bayernwerk Netz GmbH

Tabelle 7 Berücksichtigte Fremdanlagen

Wie anhand der Werte in Tabelle 6 Berechnungsergebnisse ersichtlich ist, werden die Grenzwerte der 26. BImSchV [2] uneingeschränkt eingehalten.

2.5 Prüfung des Minimierungsgebotes

Die Vorprüfung ergab, dass die nach Kapitel 5.3 der 26. BImSchVVwV [4] zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu prüfen und zu bewerten sind.

Daher werden im nachfolgenden die Minimierungsmaßnahmen für alle maßgeblichen Minimierungsorte und maßgeblichen Immissionsorte betrachtet. Hierzu zählen alle in Tabelle 2 Maßgebliche Immissionsorte für den Trassenverlauf, Tabelle 3 Maßgebliche Minimierungsorte (singulär) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf und in Tabelle 4 Maßgebliche Minimierungsorte (repräsentative Bezugspunkte) außerhalb des Bewertungsabstandes für den Trassenverlauf enthaltenen Objekte. Es wurde eine individuelle Minimierungsprüfung (Fall II) durchgeführt.

Das Minimierungspotenzial wurde also an jedem maßgeblichen Immissionsort, maßgeblichen Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstandes sowie zusätzlich an den (repräsentativen) Bezugspunkten (Fall II) ermittelt. Das Minimierungspotenzial wurde hier über eine pauschalisierende Betrachtung, in diesem Fall durch Vergleich mit bestehenden Anlagen, für die jeweiligen genannten technischen Möglichkeiten zur Minimierung ermittelt.

Um den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, werden je möglicher Minimierungsmaßnahme der spezifische Aufwand und Nutzen bei diesem Vorhaben beschrieben. Dabei wurden auch mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter berücksichtigt.

2.5.1 Abstandsoptimierung gemäß 5.3.1.1 der 26. BImSchVVwV

In dem betrachteten Leitungsabschnitt betragen die minimalen Bodenabstände bzgl. der 380-kV Freileitung min. 12,0 m. In den Trassenabschnitten, auf denen die Bayernwerkstrasse B57 auf der geplanten Leitungstrasse LH-06-B175 mitgenommen wird, die Maste 1A bis 4A und nach dem TEV- Abschnitt die Maste 5A bis 7A, beträgt der minimale Bodenabstand min 9,0 m. Bei Betrachtung der minimalen Bodenabstände die 110- kV Freileitung B57 betreffend, liegen für die Spannfelder Maste 1a bis 1A – ca. 7,10 m, für die Maste 4A bis B57/5 – ca. 8,40 m und für die Maste B57/21- 5A – ca. 8,50 m vor.

Somit wird der nach DIN EN 50341-2-4 [6] geforderte minimale Bodenabstand übertroffen. Eine darüberhinausgehende Erhöhung der Bodenabstände durch Masterrhöhungen hätte, insbesondere aufgrund der Entfernung zum maßgeblichen Minimierungsort, nur eine sehr geringe weitere Immissionsreduzierung an diesem Ort zur Folge. Gleichzeitig bedingt die damit verbundene Erhöhung der Maste einen zusätzlichen Eingriff ins Landschaftsbild und beeinträchtigt den Vogelschutz.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Eine Erhöhung der Bodenabstände durch Errichtung zusätzlicher Maste (Spannfeldlängenverkürzung) würde zu zusätzlichen Beeinträchtigungen und Eingriffen in das Landschaftsbild führen. Der zusätzliche Flächenbedarf macht Eingriffe ins Eigentum Dritter notwendig. Die zusätzlichen Mastfundamente würden gleichzeitig einen erhöhten Eingriff in den Boden darstellen.

Im Bereich M1A bis 4A wurde das einzelne 380-kV-System auf die den Immissionsorten abgewandte Seite gelegt um eine Minimierung an den maßgeblichen Minimierungsorten zu erreichen. Eine weitere Optimierung durch den Tausch eines Systems auf einen freien Gestängeplatz ist auf den restlichen Abschnitten nicht möglich.

Im Bestandsgestänge, hier die Maste 6B und 7B, ist eine Änderung nur mit erheblichem Umbau (Mast-Erhöhung und ggf. Verstärkung der Gestänge sowie des Mastfundamentes oder durch Zubau zusätzliche Maste) möglich. Unter Berücksichtigung der insgesamt nur sehr geringen Minderung der Immissionsbeiträge im zu betrachtenden Bereich im Vergleich zu dem zusätzlichen Eingriff in die Landschaft und den Boden sowie die Eigentumsbelange Dritter ist eine weitere Vergrößerung der Abstände nicht sinnvoll.

2.5.2 Elektrische Schirmung gemäß 5.3.1.2 der 26. BImSchVVwV

Die Maßnahme wirkt sich ausschließlich auf das elektrische Feld aus, welches gegenüber dem magnetischen Feld nachrangig zu minimieren ist. In diesem Zusammenhang kann es gleichzeitig nachteilige Auswirkungen auf die Geräusentwicklung geben. Zusätzlich ist zur Realisierung dieser Minimierungsmaßnahme ggfs. eine Masthöhung notwendig, um die erforderlichen Bodenabstände einzuhalten. Im Fall der hier vorliegenden Planung wäre der Ersatzneubau von 2 Bestandsmasten erforderlich. Die damit verbundene Erhöhung der Maste würde einen zusätzlichen Eingriff in das Landschaftsbild bedeuten und zudem in einer Beeinträchtigung des Vogelschutzes resultieren. Wegen der geänderten statischen Anforderungen und notwendigen Änderungen an den Mastfundamenten ist damit auch ein zusätzlicher Eingriff in den Boden und in die Eigentumsrechte Dritter verbunden.

Die zur Schirmung erforderlichen zusätzlichen (dünnen) Seile auf zusätzlichen Traversen können zu einer Erhöhung des Anflugrisikos und damit zu zusätzlichen naturschutzfachlich relevanten Eingriffen führen.

Aufgrund der geringen Wirksamkeit, insbesondere im Hinblick auf das magnetische Feld, der Maßnahme und der damit verbundenen zusätzlichen Beeinträchtigungen wird auf die Anwendung dieser Maßnahme verzichtet. Unter Berücksichtigung des geringen Minimierungspotentials ist darüber hinaus der zusätzliche Aufwand bei der Errichtung und Montage unverhältnismäßig groß.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Eine Realisierung dieser Minimierungsmaßnahme erfordert einen Ersatzneubau der Maste 6B und 7B der Leitungsanlage. Aufgrund der geringen Wirksamkeit und des enormen Realisierungsaufwandes ist die Anwendung der Maßnahme als unverhältnismäßig anzusehen und scheidet daher aus.

2.5.3 Minimieren der Seilabstände gemäß 5.3.1.3 der 26. BImSchVVwV

Eine wirksame Optimierung wird dann erreicht, wenn der Abstand der Phasen zueinander möglichst klein gewählt wird, wobei aber der Abstandsminimierung auf Grund physikalischer Gegebenheiten Grenzen gesetzt sind. Gründe dafür sind:

Für eine sichere Isolation der unter Spannung stehenden Leiter sind vorgeschriebene Mindestabstände (DIN EN 50341-2-4) [6] unter Berücksichtigung der windbedingten Ausschwingweiten zwischen den Leitern notwendigerweise einzuhalten. Darüber hinaus sind die technischen und betrieblichen Anforderungen zu berücksichtigen.

Für Wartungsarbeiten muss ein Sicherheitsabstand zwischen dem Arbeitsbereich und den unter Spannung stehenden Anlageteilen eingehalten werden. Bei Mehrfachleitungen muss in der Regel ein zu wartender Stromkreis unabhängig von den anderen Stromkreisen zugänglich sein, um die Versorgungssicherheit nicht durch zu viele gleichzeitig abgeschaltete Stromkreise zu gefährden. Diese unabhängige Freischaltungsmöglichkeit einzelner Stromkreise ist bei zu geringen inneren Abständen nicht mehr gewährleistet

Zusätzlich erhöht sich die Feldstärke zwischen den Leitern und somit die Randfeldstärke an den Leiteroberflächen mit sinkendem Leiterabstand, was zu einem Anstieg der Korona-Entladungen und den damit verbundenen Geräuschen führt – welche ihrerseits eine immissionschutzrelevante Größe sind.

Eine weitere Reduzierung der Leiterabstände als derzeit bereits in der Planung umgesetzt ist daher aus oben genannten Gründen nicht möglich.

Ggf. darüberhinausgehende Optimierung mittels sog. Kompaktmaste ist aufgrund des geringen zusätzlichen Minimierungspotentials und des umfangreichen Realisierungsaufwandes sowie erheblichen Zusatzkosten unverhältnismäßig.

2.5.4 Optimieren der Mastkopfgeometrie gemäß 5.3.1.4 der 26. BImSchVVwV

Die Wahl der Mastform, beispielsweise Tonnenmast und Donaumast, wird abhängig von den lokalen Anforderungen und den betriebstechnischen Aufgaben gewählt. Über das

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Mastkopfbild und dementsprechend über die geometrisch günstige Aufhängung der Leiterseile wird das Entstehen von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst. Die Anordnungsmöglichkeiten von Leiterseile können dabei horizontal, vertikal oder auch dreieckförmig sein.

Grundsätzlich ist für eine Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern eine vertikale Anordnung der Außenleiterseile günstiger als eine horizontale. Beispielsweise durch Tonnenmaste. Dies hat aber eine größere Masthöhe zur Folge. Die Masthöhe wiederum wirkt sich nachteilig auf das Landschaftsbild und in Abhängigkeit vom Vorkommen anfluggefährdeter Vogelarten auch auf den Vogelschutz aus. Beim Neubau, wie im Fall der hier vorliegenden Planung, können technische Randbedingungen, wie die Mitführung mehrerer Systeme, die Wahlmöglichkeiten einschränken.

Im Rahmen der hier vorliegenden Planung wurde unter Berücksichtigung der zuvor genannten Faktoren die optimale Mastform bzw. Mastgeometrie gewählt.

Die Wahl einer anderen Mastgeometrie hätte, insbesondere aufgrund der Entfernung zum maßgeblichen Minimierungsort, nur eine sehr geringe weitere Immissionsreduzierung an diesem Ort zur Folge.

Aufgrund des begrenzten Minimierungspotentials bei gleichzeitig nachteiliger Auswirkung auf die oben genannten Schutzgüter wird die vertikale Anordnung hier nicht angewendet.

Eine Realisierung dieser Minimierungsmaßnahme erfordert insbesondere im Bestand einen Ersatzneubau der Maste 6B und 7B der Leitungsanlage. Aufgrund der geringen Wirksamkeit und des enormen Realisierungsaufwandes ist die Anwendung der Maßnahme als unverhältnismäßig anzusehen und scheidet daher aus.

2.5.5 Optimieren der Leiteranordnung gemäß 5.3.1.5 der 26. BImSchVVwV

Die Phasenanordnung beeinflusst auch die elektrischen Eigenschaften der Leitung im Netz, wobei aus betrieblicher Sicht insbesondere elektrische Asymmetrien die Wahl der Phasenanordnung einschränken können. Daher ist eine Optimierung mit Blick auf einzelne Immissionssorte entlang einer Leitung oft nicht möglich. Eine im Hinblick auf die Feldminimierung optimierte Leiteranordnung kann ggf. nur für einen Teilabschnitt, aber nicht über die komplette Leitungslänge, hergestellt werden.

Für das magnetische Feld kann eine optimierte Anordnung nur für einen speziellen Betriebsfall hergestellt werden. Das Minimierungspotential ist dabei gemäß Ziff. 4 der 26. BImSchVVwV [4] für die überwiegend zu erwartende Stromrichtungskonstellation zu prüfen. Bei einer anderen Auslastung oder geänderter Stromrichtung kann diese vermeintlich optimierte Anordnung sogar eine Verstärkung des Magnetfeldes am Minimierungsort bewirken.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Eine feldoptimierte Phasenfolge kann sich ggf. nachteilig auf die Geräuschemissionen auswirken.

Eine Änderung der Leiteranordnung ist aufgrund der bestehenden Einführungen und Anschlüsse im Umspannwerk aus technischen Gründen nicht möglich.

Die gewählte Phasenordnung stellt unter Abwägung der Immissionen und der betrieblichen Aspekte während der zumeist vorherrschenden Betriebszustände und Netzkonstellationen einen optimierten Planungstand dar.

2.5.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Minimierungsprüfung der Freileitung

Hinsichtlich Abstandsoptimierung, Minimieren der Seilabstände und Optimieren der Mastkopfgeometrie sind wie zuvor dargestellt die bereits im Zuge der Planungen erarbeiteten und zu ergreifenden Maßnahmen als ausreichend feldminimierend zu bewerten. Darüberhinausgehende Optimierungen sind aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund der Belange anderer Schutzgüter nicht verhältnismäßig.

Die Minimierungsoptionen elektrische Schirmung und Optimieren der Leiteranordnung werden wie zuvor dargestellt aufgrund der zu wahrenen Verhältnismäßigkeit nicht umgesetzt.

3 Kabelanlage

3.1 Problemstellung

Aufgrund der magnetisch unsymmetrischen, flachen Legeanordnung der Kabeladern, ergeben sich unterschiedliche Induktivitätsbeläge und es wird sich, trotz parallel geschalteter Leiter, eine von Leiter zu Leiter unterschiedliche Stromaufteilung einstellen.

Wegen der schirmenden Wirkung des Kabelmantels und des überdeckenden Erdreichs treten im Bereich des TEV keine elektrischen, sondern nur magnetische Felder auf. Die physikalischen Grundlagen sind in den Kapiteln 1.2.1 und 1.2.2 näher erläutert.

Die zeitabhängigen Magnetfelder induzieren Ströme in die Kabelschirme. Um diese zu verringern werden die Schirme ausgekreuzt (sogenanntes Cross-Bonding). Es verbleiben Restströme auf den Schirmen.

Auf der Grundlage der Leiterstromaufteilungen und der Schirmströme, lassen sich die Magnetfelder der Kabelanlage berechnen. Für einen zu betrachtenden Zwischenverkabelungsabschnitt ist das höchste Magnetfeld entsprechend an der Stelle der geringsten Erdbodenüberdeckung zu erwarten.

Auch wenn der Bereich oberhalb der Kabelanlage nicht für den dauerhaften Aufenthalt für Menschen vorgesehen ist, ist die Kabelanlage so geplant, dass der gesetzliche Grenzwert [BIM2013] für die Magnetischen Flussdichte von 100 μT in einer Höhe von 0,2 m oberhalb der GOK (GOK – Geländeoberkante) eingehalten wird.

Entlang des Trassenverlaufs ergeben sich in Trassennähe Aufpunkte (z.B. Gebäude), an denen die magnetische Flussdichte (auch magnetische Induktion genannt) von Interesse sind.

Es wurden 16 Aufpunkte identifiziert, an denen die magnetische Flussdichte berechnet werden soll.

3.2 Beschreibung der Parameter

Die Eigenschaften einer Kabelanlage hängen wesentlich von der Ausführung der Anlage wie Leitermaterial, Leiter- und Schirmquerschnitt, Legeabstände und -tiefen, Schirmbehandlung, Phasenreihenfolge, etc. ab.

Es folgt eine kurze Beschreibung der Parameter, die wichtig für die Magnetfeldberechnung sind.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



3.2.2 Phasenreihenfolge:

Die beiden Teilsysteme in einem Stromkreis sollen parallelgeschaltet sein. Abweichend von der in der Literatur zu findenden üblichen Phasenfolge L1, L2, L3 - L3, L2, L1 - L1, L2, L3 - L3, L2, L1 - L1, L2, L3 - L3, L2, L1 kommt hier die Phasenfolge L1, L2, L3 - L1, L2, L3 - L1, L2, L3 - L1, L2, L3 - L1, L2, L3 nach [Ten2023] zum Einsatz. Aufgrund dieser Phasenfolge und der magnetisch unsymmetrischen Flachverlegung der Einleiterkabel wird sich eine ungleichmäßige Stromaufteilung der beiden parallelgeschalteten Systeme ergeben.

Diese Phasenfolge wurde gewählt, weil sich bei ihr an der Erdoberfläche und darüber die kleinste magnetische Induktion ergeben, die magnetischen Emissionen also minimiert. Die Minimierung des Magnetfeldes durch Verwenden der oben genannten Phasenreihenfolge wird auch in [Oed2011] bestätigt.

3.2.3 Strombelastungsprofil

Für die Berechnung der Magnetfelder ist vom höchsten Betriebsstrom, hier 4 000 A je Doppelsystem, auszugehen.

3.2.4 Schirmbehandlung:

Bei dem ca. 4,27 km langen Zwischenverkabelungsabschnitt wird ein Cross-Bonding-Hauptabschnitt geplant. Der Cross-Bonding-Hauptabschnitt besteht aus drei Unterabschnitten mit unterschiedlichen Längen. An den Cross-Bonding-Verbindungs-Muffen (CB-Muffen) werden die Kabelschirme jeder Ader aufgetrennt, gegeneinander isoliert und durch Mantelspannungsbegrenzer (SVL = Sheath Voltage Limiter) geschützt. Dabei wird ein Auskreuzen der Schirme der jeweiligen, angrenzenden Unterabschnitte ausgeführt. Eine zyklische Verdrillung der Kabelleiter innerhalb eines Hauptabschnittes ist nicht vorgesehen. Ebenso ist ein ECC (Erdleiter) nicht vorgesehen.

3.2.5 Aufbau und Materialparameter der Kabel

Bei den eingesetzten Kabeln handelt es sich um ein einadriges 400-kV-Hochspannungskabel mit einem RMS-Kupferleiter (RMS- Rundleiter, mehrdrähtig, segmentiert, auch Millikenleiter genannt) mit einem Leiterquerschnitt von 3200 mm². Der Schirmquerschnitt beträgt 250 mm² aus gleichmäßig verteilten Kupferdrähten und Kupferbändern.

3.3 Stromaufteilung und Schirmströme

3.3.1 Schirmbehandlung: Cross-Bonding

Um die Schirmverluste bei Einleiterkabeln größerer Übertragungsleistungen zu reduzieren, erfordert es eine spezielle Behandlung der Kabelschirme. In der geplanten Kabeltrasse ist das Konzept des Schirmdurchkreuzens (Cross-Bonding) vorgesehen. Beim Cross-Bonding werden die Schirme an beiden Enden des Zwischenverkabelungsabschnittes starr geerdet und auf der Strecke die einzelnen Kabelschirme ausgekreuzt. Die Auskreuzung findet an den Muffenstandorten statt und soll den Cross-Bonding-Abschnitt üblich in eine durch drei teilbare Anzahl von Unterabschnitten teilen. Idealerweise sollen diese Unterabschnitte elektrisch gleichwertig sein, wobei die induzierten Spannungen in den Kabelschirmen möglichst auf null addiert werden, um die elektrischen Ströme und somit die Verluste zu minimieren.

In realen Kabeltrassen gestaltet sich jedoch eine exakte Aufteilung eines Cross-Bonding-Hauptabschnitts in drei elektrisch gleichlange Unterabschnitte aufgrund von Verlegungsunsymmetrien, unterschiedlichen Grabenprofilen und weiteren geografischen Einschränkungen als nicht durchführbar.

Die Gesamtlänge des Erdkabelabschnitts zwischen den KÜA Ohu und Unterahrain beträgt ungefähr 4,27 km. Gemäß der aktuellen Planung sind die folgenden zwei Cross-Bonding-Muffenstandorte vorgesehen:

- CB-Muffe 1 an der Station 1+420
- CB-Muffe 2 an der Station 2+840

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar

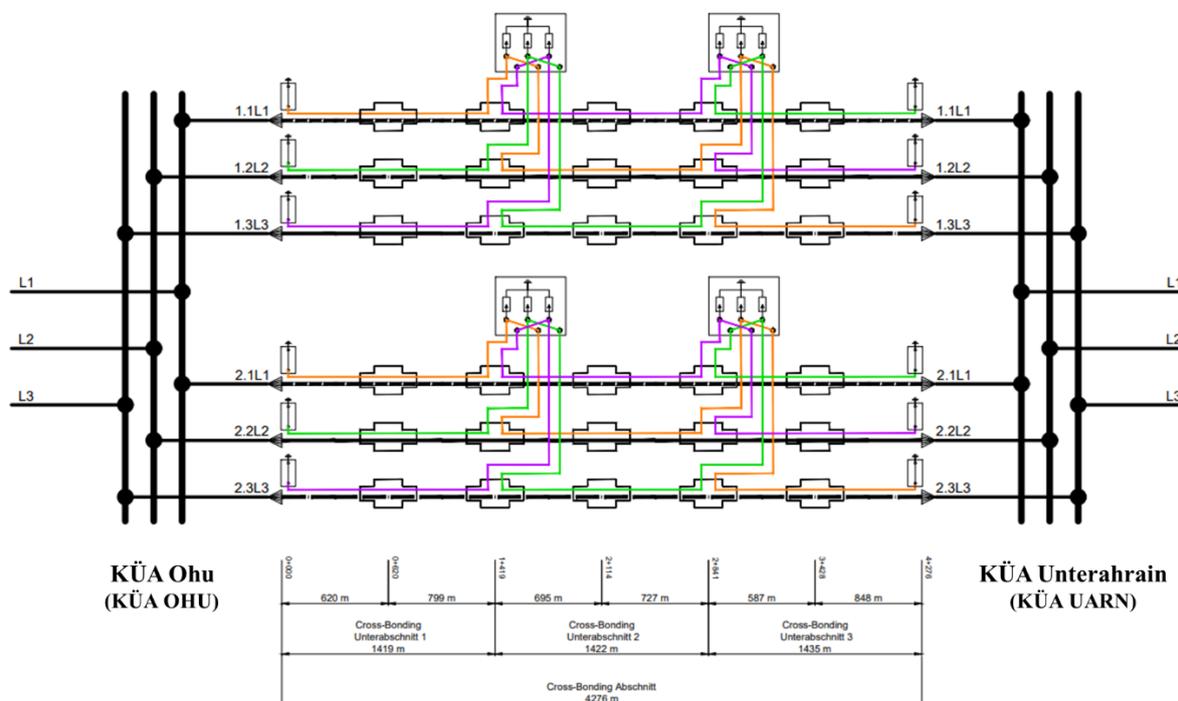


Abbildung 3 Schirmverbindungsplan gemäß der aktuellen Planung (Stand: 03.03.2023)

Um die Positionen der Cross-Bonding-Muffen zu bewerten, werden die nicht kompensierten oder verbleibenden Schirmspannungen ermittelt. Hierbei wird angenommen, dass die Schirme nur auf der Seite der KÜA Ohu mit der lokalen Erdungsanlage starr geerdet sind, während sie auf der anderen Seite, bei der KÜA UARN, nicht geerdet sind. Durch die einwirkenden Leiterströme entstehen induzierte Spannungen in den Schirmen. Diese induzierten Schirmspannungen an der KÜA Unterahrain können als treibende Spannungen für Schirmströme betrachtet werden, wenn die Schirme wie im Normalbetrieb wieder starr geerdet sind. Dadurch dienen sie als Indikator zur Beurteilung der optimalen oder ungünstigen Positionen der Muffenstandorte. Bei einem idealen Fall mit vollständig symmetrischen Aufbauten sollten diese Spannungen nahezu null betragen.

3.3.2 Nachbildung des Kabelsystems in ATP-EMTP

Der Umfang des modellierten elektrischen Netzes richtet sich nach den zu untersuchenden elektrischen Phänomenen. Für die stationäre Betrachtung genügt es, die Kabelanlage detailliert zu modellieren. Andere Netzkomponenten wie Netzeinspeisungen, Erdungsanlagen sowie die Schutz- und Schaltvorrichtungen (SVL) werden nicht explizit im Modell berücksichtigt.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Die Kabelanlage wird unter Verwendung des im ATP-EMTP integrierten Hilfsprogramms CABLE PARAMETER (CP) modelliert [ATP].

Da die Trasse überwiegend gerade verläuft und nur geringfügige Richtungsänderungen aufweist, werden die in angegebenen Unterabschnitte jeweils durch eine physische Kabellänge modelliert. Jeder Unterabschnitt wird dann mit den geometrischen Mittelwerten der Abstände modelliert. Der spezifische Erdwiderstand wird mit $100 \Omega \cdot m$ angenommen [Oed2011]

Für die Berechnung der elektrischen Beanspruchungen im Regelbetrieb und im Fehlerfall werden die Zustandsgrößen des Netzes hinreichend genau durch "ruhende" Effektivwertzeiger beschrieben. Die Kabel werden daher als mehrpolige π -Glieder modelliert. Dynamische Übergangszustände werden in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

3.3.3 Berechnete Stromaufteilungen

Bei Verwendung von Cross-Bonding ist eine vollständige Unterdrückung des Schirmstromes innerhalb eines Hauptabschnittes nicht möglich. Dieser Sachverhalt resultiert aus der Verstimmung aufgrund unterschiedlicher Unterabschnittslängen sowie aus der Unsymmetrie der Flachverlegung.

Die berechneten Ergebnisse, also Leiterströme und Schirmströme bei der Höchstlast von 4000 A pro Stromkreis, sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Leiterströme und induzierte Schirmströme bei der Höchstlast von 4 000 A pro Stromkreis							
		Unterabschnitt 1		Unterabschnitt 2		Unterabschnitt 3	
		Betrag [A]	Winkel [Deg]	Betrag [A]	Winkel [Deg]	Betrag [A]	Winkel [Deg]
A 1	L1	1956,35	2,26	1956,35	2,26	1956,35	2,26
	L2	1960,42	-121,02	1960,42	-121,02	1960,42	-121,02
	L3	2082,05	120,23	2082,05	120,23	2082,05	120,23
	S1	138,26	-162,54	61,80	-111,82	90,94	133,42
	S2	90,94	133,42	138,26	-162,54	61,80	-111,82
	S3	61,80	-111,82	90,94	133,42	138,26	-162,54
A 2	L1	2046,63	-2,16	2046,63	-2,16	2046,63	-2,16

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Leiterströme und induzierte Schirmströme bei der Höchstlast von 4 000 A pro Stromkreis							
	L2	2040,18	-119,02	2040,18	-119,02	2040,18	-119,02
	L3	1917,98	119,75	1917,98	119,75	1917,98	119,75
	S1	15,98	-130,58	107,43	-12,72	119,74	60,02
	S2	119,74	60,02	15,98	-130,58	107,43	-12,72
	S3	107,43	-12,72	119,74	60,02	15,98	-130,58
A 3	L1	1954,50	2,17	1954,50	2,17	1954,50	2,17
	L2	1955,38	-121,00	1955,38	-121,00	1955,38	-121,00
	L3	2078,11	120,29	2078,11	120,29	2078,11	120,29
	S1	136,52	-157,40	66,66	-94,56	85,92	126,70
	S2	85,92	126,70	136,52	-157,40	66,66	-94,56
	S3	66,66	-94,56	85,92	126,70	136,52	-157,40
A 4	L1	2048,25	-2,07	2048,25	-2,07	2048,25	-2,07
	L2	2045,20	-119,04	2045,20	-119,04	2045,20	-119,04
	L3	1921,95	119,69	1921,95	119,69	1921,95	119,69
	S1	19,50	-99,17	119,51	-15,44	122,84	54,99
	S2	122,84	54,99	19,50	-99,17	119,51	-15,44
	S3	119,51	-15,44	122,84	54,99	19,50	-99,17
A 5	L1	1957,01	2,20	1957,01	2,20	1957,01	2,20
	L2	1956,32	-121,03	1956,32	-121,03	1956,32	-121,03
	L3	2083,66	120,32	2083,66	120,32	2083,66	120,32
	S1	133,09	-154,82	76,89	-87,17	75,84	120,99
	S2	75,84	120,99	133,09	-154,82	76,89	-87,17
	S3	76,89	-87,17	75,84	120,99	133,09	-154,82
A 6	L1	2045,82	-2,11	2045,82	-2,11	2045,82	-2,11

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Leiterströme und induzierte Schirmströme bei der Höchstlast von 4 000 A pro Stromkreis							
	L2	2044,30	-119,02	2044,30	-119,02	2044,30	-119,02
	L3	1916,41	119,65	1916,41	119,65	1916,41	119,65
	S1	25,10	-74,95	134,56	-16,96	128,31	49,27
	S2	128,31	49,27	25,10	-74,95	134,56	-16,96
	S3	134,56	-16,96	128,31	49,27	25,10	-74,95

Tabelle 8 Leiterströme und induzierte Schirmströme bei der Höchstlast von 4 000 A pro Stromkreis

3.4 Berechnung der magnetischen Eigenschaften

Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch magnetische Felder hat der Gesetzgeber Anforderungen in der sechsundzwanzigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) festgesetzt [BIM2013].

In der Neufassung der 26. BImSchV von 2013 [BIM2013] wird für ortsfeste Niederfrequenzanlagen mit einer Spannung von mehr als 1000 V ein Grenzwert der magnetischen Flussdichte (auch magnetische Induktion genannt) von 100 μT festgelegt (siehe §3, Absatz (2) in Verbindung mit Anhang 1 der 26. BImSchV).

Dieser Grenzwert muss nur im Einwirkungsbereich der Kabelanlage an Orten, die zum dauerhaften oder nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind (sog. maßgebliche Immissionsorte) eingehalten werden.

Der Regelgraben nach [Ten2023] ist so ausgestaltet, dass es beim Einhalten bestimmter Rahmenbedingungen, z.B. einer Minderlegetiefe von 1,5 m, zu magnetischen Emissionen kommt, die unterhalb von 100 μT in 0,2 m oberhalb der GOK liegen.

Bei der geplanten Kabelanlage gibt es zwei Besonderheiten zu beachten.

- Erstens: An einem Freileitungsseil sind zwei Kabeladern angeschlossen, welche somit als parallelgeschaltet gelten. Aufgrund der auf Abstand und flach verlegten Kabeladern spannen diese unterschiedlich große Flächen auf und weisen somit unterschiedliche Induktivitätsbeläge auf. Daraus resultieren unterschiedlich große Ströme auf den Kabeladern. Die Stromverteilung wurde im Abschnitt 3.3.3 berechnet.
- Zweitens: Die von den stromdurchflossenen Leitern ausgehenden Magnetfelder induzieren Spannungen in die Kabelschirme. Sind die Kabelschirme beidseitig geerdet, bilden die Schirme geschlossene Leiterschleifen und die induzierten Spannungen treiben einen Schirmstrom. Durch Auskreuzen der Kabelschirme werden die Schirmströme reduziert. Soll nicht jede Muffe an einem anderen Standort gelegt werden, verbleiben aufgrund der unterschiedlichen Induktivitätsbeläge unvermeidbare Restströme auf den Schirmen.

Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: Da ein System immer das energetische Minimum einnimmt, ergibt sich durch die ungleichmäßige Leiterstromverteilung ein geringeres Magnetfeld im Vergleich zu zwei nicht parallelgeschalteten Kabeladern, die jeweils 2 000 A führen würden.

Die Schirmströme werden durch das Magnetfeld der Leiterströme verursacht. Die hierzu benötigte Energie wird dem treibenden Magnetfeld entzogen (vergleiche Lenz'sche Regel: das Magnetfeld der induzierten Ströme ist dem induzierenden Magnetfeld entgegengerichtet).

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Schirmströme bewirken also eine Schwächung des Magnetfeldes. Vernachlässigt man diese, werden die magnetischen Emissionen zu groß berechnet.

In dieser Studie wurden die Magnetfelder mit Hilfe des Linienleiterverfahrens und des Biot-Savart-Gesetzes analytisch berechnet. Es wurden die Stromaufteilungen und Schirmströme nach Tabelle 8 angenommen.

3.4.1 Analytische Berechnung der magnetischen Flussdichte

Im einfachsten Fall (Magnetfeld eines einzelnen stromdurchflossenen Leiters) berechnet sich die magnetische Flussdichte nach dem Biot-Savart-Gesetz und der Materialgleichung zu:

$$\vec{H} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \vec{e}_\alpha; \vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H} \Rightarrow \vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot \vec{e}_\alpha \quad (4.1)$$

mit der magnetischen Flussdichte B , μ_0 der Permeabilität des Vakuums, der Stromstärke I , der Kreiszahl π , dem Abstand r zum Leiter. μ_r gibt die relative Permeabilität des jeweiligen Materials an, in dem sich das magnetische Feld ausbreitet. Für nichtmagnetische Materialien, wie Luft, Erdreich, Meeresboden, Wasser etc. ist $\mu_r = 1$ anzunehmen.

Bei dieser Art der Berechnung werden die elektrischen Leiter als Linienleiter (unendlich dünn) angenommen. Die Schirmströme werden durch eine komplexe Addition zu den Leiterströmen berücksichtigt.

Das Magnetfeld ist ein vektorielles Wirbelfeld (hat also einen Betrag und eine Richtung), dessen Feldlinien sich kreisförmig um den Leiter schließen. Die Richtung wird durch den Azimutwinkel-Einheitsvektor \vec{e}_α ausgedrückt.

Im Fall von Wechselströmen sind der Strom I und die magnetische Flussdichte B als komplexe Größen, mit einem Betrag und einer Phasenlage, anzunehmen (erkennbar an dem Unterstrich).

Wie man anhand von Gleichung 4.1 leicht erkennt, hängt das Magnetfeld weder vom Leiterquerschnitt noch von Wasser- oder Leitertemperaturen, Bodenwärmeleitfähigkeiten, etc. ab, weshalb hier eine einfachere Modellierung der Umgebung als im thermischen Teil vorgenommen werden kann. Die magnetische Flussdichte B verhält sich proportional zur Stromstärke I . Die magnetische Flussdichte hängt antiproportional vom Abstand r zur Kabelanlage als Feldquelle ab.

Bei mehreren Adern, wie hier vorliegend, müssen die Einzelfelder zu einem Gesamtfeld überlagert werden. Das zylindrische Koordinatensystem ist nur für rotationsymmetrische Anordnungen, also bei einem einzelnen Leiter, zweckdienlich, weshalb die Koordinaten bei

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



mehreren Leitern in kartesische Koordinaten umgerechnet werden müssen, um anschließend die x- und y-Komponenten zu überlagern. Es ergibt sich für das Magnetfeld am Aufpunkt (x_P, y_P):

$$\vec{B}(x_P, y_P) = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_i} \cdot \begin{pmatrix} -\sin \alpha_i \\ \cos \alpha_i \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

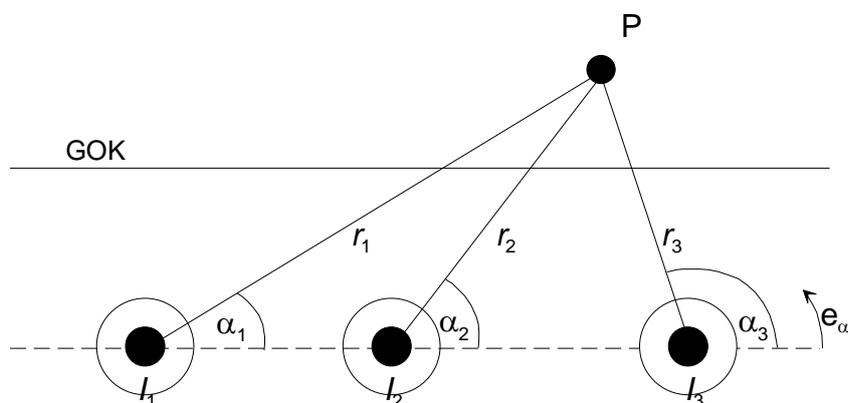


Abbildung 4 Skizze zur Veranschaulichung von Gleichung 4.2

Da die Ströme unterschiedliche Phasenlagen haben, werden Sie als komplexe Effektivwertzeiger mit Betrag und Phase (bzw. mit Real und Imaginärteil) definiert. Dementsprechend ergibt sich ein Vektor aus komplexen Effektivwertzeigern für die Magnetische Flussdichte

$$\vec{B}(x_P, y_P) = \begin{pmatrix} \underline{B}_x \\ \underline{B}_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_x \cdot e^{j\varphi_x} \\ B_y \cdot e^{j\varphi_y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{x,Re} + jB_{x,Im} \\ B_{y,Re} + jB_{y,Im} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Um daraus den interessierenden Betrag der Flussdichte am Aufpunkt zu erhalten, muss die euklidische Norm gebildet werden, indem mit dem konjugiert komplexen Vektor multipliziert wird:

$$\left| \vec{B}(x_P, y_P) \right|^2 = \begin{pmatrix} B_{x,Re} + jB_{x,Im} \\ B_{y,Re} + jB_{y,Im} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} B_{x,Re} - jB_{x,Im} \\ B_{y,Re} - jB_{y,Im} \end{pmatrix} = B_{x,Re}^2 + B_{x,Im}^2 + B_{y,Re}^2 + B_{y,Im}^2 \quad (4.4)$$

Um vom Betragsquadrat zum Betrag der Flussdichte zu gelangen, muss im letzten Schritt die Wurzel gezogen werden. Es ergibt sich:

$$B = \sqrt{B_{x,Re}^2 + B_{x,Im}^2 + B_{y,Re}^2 + B_{y,Im}^2} \quad (4.5)$$

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Mit Hilfe der obigen Gleichungen und der Geometriedaten der Kabelanlage, wie Legetiefe und Abstände, lässt sich die magnetische Flussdichte im Außenraum einfach berechnen.

3.4.2 Berechnungsergebnisse

Da sich die Kabeltrasse im Isartal befindet, ergeben sich bei den Überdeckungen Hanglagen. Bei der Trassierung wurde darauf geachtet, dass bei der geringsten Überdeckung des einen äußeren Systems die 1,6 m Legetiefe möglichst eingehalten wird. Bedingt durch die Hanglage bewirkt der Geländeanstieg eine deutlich größere Überdeckung bei dem anderen äußeren System. Mit größerer Überdeckung, bzw. größerem Abstand zur Kabelanlage, nimmt das Magnetfeld ab.

Die Annahme einer Minderlegetiefe von 1,5 m ist also als konservativ anzusehen, da durch den Geländeanstieg auch größere Überdeckungen als die geforderte Nennlegetiefe von 1,6 m erreicht werden, so dass sich in der Realität kleinere magnetische Flussdichten als berechnet ergeben werden.

Es gibt zwei Bereiche größerer Überdeckung, die sich etwa von Station 0+100 bis Station 0+200 sowie von Station 0+940 bis 1+120 erstrecken. Um die gegenseitige Erwärmung zu reduzieren und somit die Strombelastbarkeit zu gewährleisten, werden die Kabeladerabstände vergrößert. Größere Abstände haben eine geringere Kompensation der Einzelmagnetfelder und somit größere magnetische Emissionen zur Folge. Hier wäre die Standardannahme einer Überdeckung von 1,5 m für die Magnetfelder deutlich zu konservativ gewählt. Hier wird für die Magnetfeldberechnung die geplante Überdeckung, abzüglich einer Minderlegetiefe von 0,1 m, angenommen.

Das Vorgehen wird am Beispiel des ersten Aufpunkts bei Station 300,01 gezeigt: Anhand des von Omexon zur Verfügung gestellten Modells wird der Abstand vom Aufpunkt zur nächstgelegenen Kabelader gelotet:

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Abbildung 5 Lotrechte Entfernung zwischen äußerer Ader (L11) und Aufpunkt

Der AutoCad-Viewer gibt eine Entfernung von 77,21 m aus. Im nächsten Schritt werden die Exceltabellen [Ome2023] mit den Aderabständen ausgewertet. In diesem Fall betragen alle Phasenabstände links der Trassenachse 0,60 m. Mit einem Systemabstand von 1,9 m und einem Stromkreisabstand von 16,4 m, liegt die Ader L11 bei -22,85 m. Das negative Vorzeichen bedeutet, dass die Ader L11 links der Trassenachse liegt. Damit liegt der Aufpunkt bei

$x = -22,85 \text{ m} - 77,21 \text{ m} = -100,06 \text{ m}$. Abgetastet wird in 0,2 m Höhe oberhalb der Geländeoberkante. Allerdings könnte aufgrund der deutlich größeren horizontalen Entfernung die vertikale Höhe von 0,2 m oberhalb der GOK in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Es wurde im Sinne einer konservativen Berechnung eine Minderlegetiefe von 1,5 m (Achse des Schutzrohres) angenommen. Es ergibt sich eine magnetische Flussdichte von 0,14 μT am Aufpunkt.

Die beigefügten Dateien enthalten die waagerechten Linienabtastrungen von der Trassenachse bis zu einer Entfernung von 200 m links und rechts der Trassenachse (siehe Abbildung 6 Verteilung der Magnetischen Flussdichte bei Station 300,01 in einer Höhe von 0,2 m oberhalb der GOK), so dass bei Bedarf auch Aufpunkte in anderen Entfernungen abgelesen werden können.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar

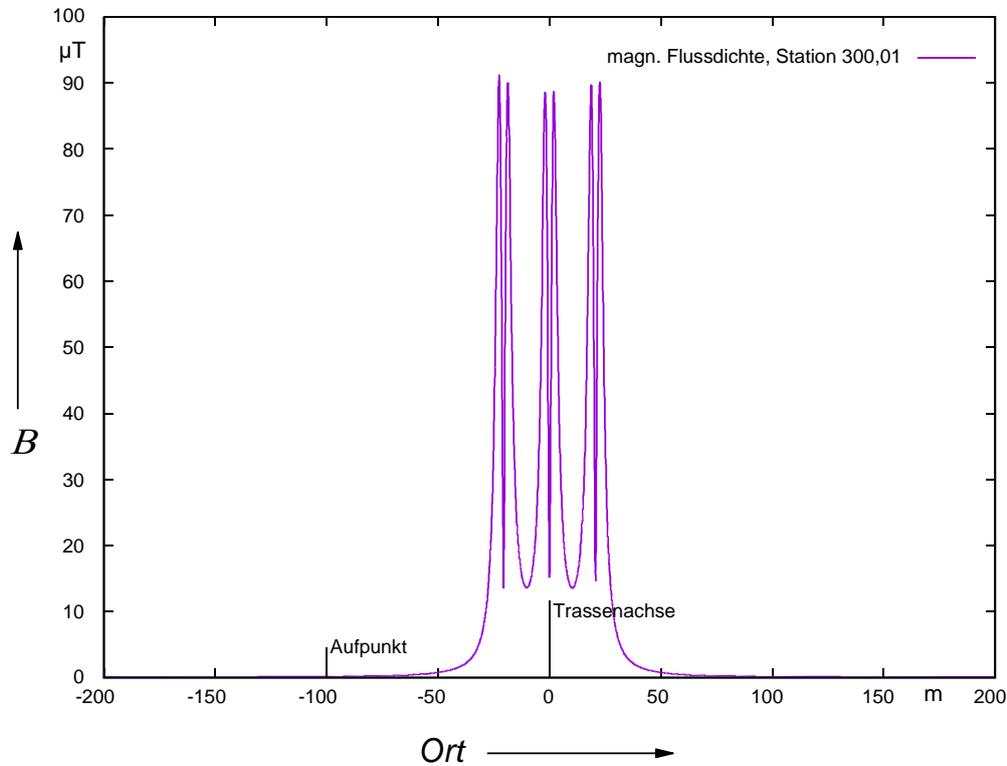


Abbildung 6 Verteilung der Magnetischen Flussdichte bei Station 300,01 in einer Höhe von 0,2 m oberhalb der GOK

Die obige Abbildung zeigt die Verteilung der magnetischen Flussdichte am Beispiel von Station 300. Senkrecht oberhalb der Kabeladern befinden sich die Maxima der magnetischen Flussdichte. Rechts und links der Trasse fällt die magnetische Flussdichte schnell zu sehr kleinen Größenwerten ab.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Die folgende Tabelle gibt die berechneten magnetischen Flussdichten für alle Aufpunkte an:

Bezugspunkte	Station	Cross Bonding Abschnitt	Legetiefe, Leiterachse/ m	Abstand von welcher Ader	Abstand von Ader /m	Abstand von Trassenachse/ m	Magnetische Flussdichte/ μT	Relativ zum Grenzwert von 100 μT / %
K_RPB_01	300,0	CB I	1,5527	L11	-77,21	-100,06	0,14	0,14
K_RBP_02	630,3	CB I	1,5527	L63	29,77	53,40	0,81	0,81
K_IMMI_01	650,7	CB I	1,5527	L63	1,206	24,04	56,10	56,10
K_IMMI_02	773,9	CB I	1,5527	L63	5,304	28,15	11,17	11,17
K_IMMI_03	858,6	CB I	1,5527	L63	1,489	24,34	49,62	49,62
K_IMMI_04	870,5	CB I	1,5527	L61	-1,465	20,19	34,62	34,62
K_BP_01	973,0	CB I	3,6027	L63	4,90	33,28	23,88	23,88
K_IMMI_05	1011,9	CB I	3,6527	L33	1,00	0,0	23,19	23,19
K_RBP_03	1067,8	CB I	1,5527	L11	-14,46	-43,76	6,42	6,42
K_IMMI_06	1122,5	CB I	1,5527	L23	3,42	-15,13	27,76	27,76
K_RBP_04	1309,8	CB I	1,5527	L11	-29,10	-51,95	0,70	0,70
K_BP_02	1562,2	CB II	1,5527	L11	-87,38	-110,27	0,11	0,11
K_BP_03	1631,3	CB II	1,5527	L11	-37,61	-60,46	0,51	0,51
K_RBP_05	1706,3	CB II	1,5527	L11	-93,76	-116,61	0,11	0,11
K_RBP_06	3485,0	CB III	1,5527	L11	-57,23	-80,04	0,24	0,24
K_RBP_07	3520,1	CB III	1,5527	L11	-52,43	-75,32	0,28	0,28

Tabelle 9 Berechnete magnetische Flussdichten an den Aufpunkten (IMMI gemäß LAI)

Bezugspunkte	Art der Nutzung
--------------	-----------------

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



K_RPB_01	Wohngebäude, Gewerbegebäude und Hofgebäude
K_RBP_02	Gärten mit Teichen und Gartenhütten
K_IMMI_01	Gärten mit Teichen und Gartenhütten
K_IMMI_02	Gärten mit Teichen und Gartenhütten
K_IMMI_03	Gärten mit Teichen und Gartenhütten
K_IMMI_04	Gärten mit Teichen und Gartenhütten
K_BP_01	Gärten mit Teich und Gartenhütte
K_IMMI_05	Gärten mit Teich und Gartenhütte
K_RBP_03	Gärten mit Teich und Gartenhütte
K_IMMI_06	Stall
K_RBP_04	Sportstätten
K_BP_02	Garten von Wohngebäude
K_BP_03	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
K_RBP_05	Wohn- und Gewerbegebäude
K_RBP_06	Wohngebäude und Hof
K_RBP_07	Hof

Tabelle 10 TEV-Abschnitt - Art der betroffenen Nutzung

Die Lage der berechneten Punkte kann Anlage 2 (Übersichtsplan EMF) entnommen werden.

An allen untersuchten Aufpunkten liegt die magnetische Flussdichte deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts von $100\mu\text{T}$ [BIM2013].

3.5 Zusammenfassung Kabelanlage

Die Übertragung der erzeugten Leistung aus erneuerbaren Energien erfordert den Netzausbau in Bayern. Die TenneT TSO GmbH (AG) plant den Neubau der 380-kV-Höchstspannungsleitung zwischen der Schaltanlage Isar und dem Umspannwerk Altheim.

Gemäß der aktuellen Planung soll etwa ein Abschnitt von 4,27 km der insgesamt 7 km langen 380 kV-Leitung zwischen der Schaltanlage Isar und dem Umspannwerk Altheim als Erdkabel verlegt werden.

Die vorliegende Studie fasst die berechneten magnetischen Flussdichten an 16 Orten in Trassennähe zusammen.

Ungeachtet der Hanglagen im Isartal, die lokal zu größeren Überdeckungen führen, wurde eine Minderlegetiefe von 1,5 m für die Magnetfeldberechnung angenommen. Bei den beiden Bereichen deutlich größerer Überdeckung wurde für die Magnetfeldberechnung die geplante Überdeckung, abzüglich einer Minderlegetiefe von 0,1 m, angenommen.

Angenommen wurde der höchste Betriebsstrom von 4 000 A je Doppelsystem. Bei der Magnetfeldberechnung wurden die berechnete ungleichmäßige Stromaufteilung sowie die Schirmströme berücksichtigt. In allen Aufpunkten wurde der gesetzliche Grenzwert von 100 μT eingehalten, bzw. deutlich unterschritten.

3.6 Prüfung des Minimierungsgebotes

Die Vorprüfung ergab, dass die nach Kapitel 5.3 der 26. BImSchVVwV [4] zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur Minimierung zu prüfen und zu bewerten sind.

Daher werden im nachfolgenden die Minimierungsmaßnahmen für alle maßgeblichen Minimierungsorte und maßgeblichen Immissionsorte betrachtet. Hierzu zählen alle in Tabelle 9 Berechnete magnetische Flussdichten an den Aufpunkten enthaltenen Objekte. Es wurde eine individuelle Minimierungsprüfung (Fall II) durchgeführt.

Das Minimierungspotenzial wurde also an jedem maßgeblichen Immissionsort und maßgeblichen Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstandes sowie zusätzlich an den (repräsentativen) Bezugspunkten (Fall II) ermittelt. Das Minimierungspotential wurde hier über eine pauschalisierende Betrachtung, in diesem Fall durch Vergleich mit bestehenden Anlagen, für die jeweiligen genannten technischen Möglichkeiten zur Minimierung ermittelt.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Um den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu wahren, werden je möglicher Minimierungsmaßnahme der spezifische Aufwand und Nutzen bei diesem Vorhaben beschrieben. Dabei wurden auch mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Schutzgüter berücksichtigt.

3.6.1 Minimieren der Kabelabstände gemäß 5.3.2.1 der 26. BImSchVVwV

Für den Betrieb ist eine Minimierung der Kabelabstände nachteilig dahingehend, dass für den Zeitraum der turnusmäßigen Instandhaltung und Wartung sowie für ggf. notwendige Reparaturarbeiten gegebenenfalls die benachbarten Stromkreise abgeschaltet werden müssen, da die geringen Abstände zu höheren gegenseitigen Beeinflussungen führen. Bei den Abständen der Einzeladern muss darüber hinaus ausreichend Platz für eine ggf. notwendige Reparatur vorhanden sein. Die resultierenden Einkopplungen aus der Beeinflussung in den Schirmdrähten sind zu prüfen und eventuell notwendige Gegenmaßnahmen der Minimierungsmaßnahme gegenüber abzuwägen. Die mögliche Erwärmung des Bodens steigt mit der Kompaktierung der Anlage. Dies kann sich wiederum nachteilig auf die Übertragungsleistung der Kabelanlage auswirken. Unter Umständen ist das Einbringen von hoch wärmeleitfähigem Boden (z. B. Bentonit) erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass mit der Minimierung der Kabelabstände kein Hotspot erzeugt wird, welcher die Verfügbarkeit bzw. die Übertragungsleistung der Kabelanlage einschränkt oder zu einer kostenintensiven Querschnittsvergrößerung etwa durch parallele Kabelsysteme führt, um der Temperaturerhöhung entgegenzuwirken.

Die Kabelanlage wurde hinsichtlich der Abstände und unter Berücksichtigung der beschriebenen zu beachtenden Aspekte optimiert.

3.6.2 Optimieren der Leiteranordnung gemäß 5.3.2.2 der 26. BImSchVVwV

Da es sich bei dem Onshore-Pilotprojekt um einen relativ kurzen Leitungsabschnitt handelt, würde der Leitertausch vorrangig in den Kabelübergangsstationen stattfinden. Es sind die Kabelmantelverluste, das Erdungskonzept und die Temperaturen im Kabel und in der Kabelumgebung zu überprüfen. Bei Zwischenverkabelungsvorhaben mit mehreren parallel geschalteten Kabeln kann sich eine Veränderung der Leiteranordnung nachteilig auf die Stromaufteilung in den Einzeladern und somit auch nachteilig auf die Übertragungsfähigkeit der Kabelanlage auswirken. Dieser Leitertausch kann den Flächenverbrauch, den optischen Eindruck der Kabelübergangsstation und damit das Landschaftsbild beeinträchtigen.

Die Kabelanlage wurde hinsichtlich der Leiteranordnung und unter Berücksichtigung der beschriebenen zu beachtenden Aspekte optimiert.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar

**3.6.3 Optimieren der Verlegegeometrie gemäß 5.3.2.3 der 26. BImSchVVwV**

Auswirkungen auf das Schutzgut Boden und Grundwasser sind zu prüfen (z. B. vergrößerter Grabenquerschnitt, Start- und Zielgrube bei HDD-Verfahren, Einbringen von hoch wärmeleitfähigem Boden, z. B. Bentonit). Zudem ist die Einschränkung für die Instandhaltung bzw. einer eventuell notwendigen Reparatur zu prüfen, denn eine vertikale oder Dreiecksanordnung bedingt das Freilegen aller Kabeladern. Dies führt zu längeren Ausfall- und Montagezeiten, schwerwiegenderen Bodeneingriffen und damit verbundenen Baulärmbeanspruchungen. Die thermische Auslegung der Kabelanlage ist in diesem Zusammenhang zu überprüfen.

Die Kabelanlage wurde hinsichtlich der Verlegegeometrie und unter Berücksichtigung der beschriebenen zu beachtenden Aspekte optimiert.

3.6.4 Optimieren der Verlegetiefe gemäß 5.3.2.4 der 26. BImSchVVwV

Bei einer feldminimierenden Erhöhung der Verlegetiefe ergeben sich Auswirkungen auf die Schutzgüter Boden und Grundwasser. Durch die Erhöhung der Verlegetiefe und die dabei anzuwendenden Legetechnologien wird zusätzlicher Boden in Anspruch genommen (thermisch bedingte erhöhte seitliche Abstände und Trassenbreite, Start- und Zielgrube bei HDD-Verfahren). Unter Umständen ist das Einbringen von hoch wärmeleitfähigem Boden (z. B. Bentonit) erforderlich.

Die Verlegetiefe wird in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit und der vorhandenen Infrastruktur projektiert. Bei der Auslegung wird abgewogen zwischen der mit zunehmender Verlegetiefe schlechteren Wärmeabfuhr, dem größeren Bodeneingriff sowie einer größeren Flächeninanspruchnahme einerseits und der Minimierung der Felder andererseits.

Im Rahmen der Abwägung der zuvor dargelegten Faktoren wurde die Standard-Legetiefe im Regelgraben mit 1,6 m projektiert. Die Kabeltrasse befindet sich im Isartal. Daher ergeben sich bei den Überdeckungen Hanglagen. Bei der Trassierung wurde darauf geachtet, dass bei der geringsten Überdeckung des einen äußeren Systems die 1,6 m Legetiefe möglichst eingehalten wird. Bedingt durch die Hanglage bewirkt der Geländeanstieg eine deutlich größere Überdeckung bei dem anderen äußeren System. Mit größerer Überdeckung, bzw. größerem Abstand zur Kabelanlage, nimmt das Magnetfeld ab. Bei der Berechnung wurde ein konservativer Ansatz gewählt und eine Minderlegetiefe von 1,5 m (Nennlegetiefe -0,1 m) vorausgesetzt. Die magnetische Flussdichte liegt an allen untersuchten Aufpunkten deutlich unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes. Hinsichtlich der Optimierung der Verlegetiefe ist die Kabelanlage unter Berücksichtigung der anderen dargestellten Aspekte als feldoptimiert anzusehen. Darüber hinausgehende Optimierungen sind aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund der Belange anderer Schutzgüter nicht verhältnismäßig.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar

**3.6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Minimierungsprüfung der Kabel**

Hinsichtlich Minimieren der Kabelabstände, Optimieren der Leiteranordnung, Optimieren der Verlegegeometrie und Optimieren der Verlegetiefe ist die Kabelanlage unter Berücksichtigung der anderen dargestellten Aspekte als feldoptimiert anzusehen. Darüberhinausgehende Optimierungen sind aus wirtschaftlichen Gründen und aufgrund der Belange anderer Schutzgüter nicht verhältnismäßig.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



4 Zusammenfassung und Fazit

Freileitungen und Erdkabel erzeugen aufgrund der unter Spannung stehenden und Strom führenden Leiter elektrische und magnetische Felder, wobei das elektrische Feld bei Erdkabeln vom Kabelmantel und dem überdeckenden Erdreich vollständig abgeschirmt wird. Daher sind die Vorschriften des BImSchG [1] zu beachten bzw. die Einhaltung der konkreten Anforderungen der 26. BImSchV [2] für Niederfrequenzanlagen darzulegen.

Im vorliegenden Bericht wurde überprüft, ob beim Betrieb der Leitungsanlage die Anforderungen der 26. BImSchV [2] und der 26. BImSchVVwV [4] eingehalten werden. Die Berechnungen und Prüfungen zeigen, dass die an den maßgeblichen Immissionsorten und den maßgeblichen Minimierungsorten ermittelten elektrischen Feldstärken und magnetischen Flussdichten unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen und damit alle Schutzanforderungen erfüllt sind. Auch die Anforderungen zur Vorsorge wurden geprüft und dem enthaltenen Minimierungsgebot der 26. BImSchVVwV [4] wird Rechnung getragen.

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar

**Anhang**

Nummer	Beschreibung
Anhang 1	Liste maßgeblicher Immissionsorte
Anhang 2	Übersichtsplan EMF
Anhang 3	Hersteller-Zertifikat für die Software WinField

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



Literaturverzeichnis für Freileitung

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013 I 1274; zuletzt geändert durch Art. 11 Abs. 3 G v. 26.7.2023 I Nr. 202.
- [2] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV), Neugefasst durch Bek. v. 14.8.2013 I 3266.
- [3] LAI, Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, mit Beschluss der 54. Amtschefkonferenz in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut.
- [4] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV), 2016.
- [5] D. K. E. E. I. i. D. u. VDE, DIN EN 50413 Freileitungen über AC, Berlin: Beuth Verlag, 2013.
- [6] D. I. f. N. e.V., DIN EN 50341-2-4 Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz);, Berlin: Beuth Verlag, 2020.

Literaturverzeichnis für Einleitung und Kabelanlage

- [ATP] ATP Website, www.emtp.org und www.eeug.org
- [BIM2013] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz: „Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV“, neu gefasst durch Bek. v. 14.8.2013
- [Oed2011] D. Oeding e.a., „Elektrische Kraftwerke und Netze“, Aufg. 7, 2011
- [Ome2022] Omexon: „Regelgrabenprofil - 3 Systeme AC 380kV“, 21.09.2022
- [Ome2023] Omexon: A810 / TEV Abschnitt Verlegetiefe Achse A1-A6, Exceltabellen

Immissionsbericht zu elektrischen und magnetischen Feldern nach 26. BImSchV

A810: Isar – Altheim / Abschnitt 1: Altheim - Isar



- [Sta2001] J. Stammen, „Numerische Berechnung elektromagnetischer und thermischer Felder in Hochspannungskabelanlagen“, Dissertation Universität Duisburg, Shaker Verlag, 2001
- [Ten2023] TenneT: „TenneT - Berechnungen für 380 kV Zwischen-verkabelungsabschnitte“, Version 1.8, April 2023, Revision vom: 24.04.2023
- [Ten2023a] <https://www.tennet.eu/de/projekte/isar-altheim>, abgerufen am 16.08.2023
- [VDE1995] VDE 0276 Teil 1000: Starkstromkabel, Strombelastbarkeit, Allgemeines, Umrechnungsfaktoren, VDE-Verlag, Berlin, Juni 1995
- [VDE2005] VDE 0228: „Leiter für Kabel und isolierte Leitungen (IEC 60228:2004); Deutsche Fassung EN 60228:2005 + Corrigendum:2005“, VDE-Verlag, Berlin, 2005

**Maßgebliche Immissionsorte durch Neubau der
380-kV-Leitung A810: Isar - Altheim**

Berechnungsnachweis

 Datum: 26.10.2023
 Erfasser: Döpel

Betrachtungsbereich vom ruhenden äußeren Leiter zum Objekt (nach "Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder"):

380 kV	20 m
220 kV	15 m
110 kV	10 m
<110 kV	5 m

Lfd. Nr. Berechnet	Leitungs- nummer	Leitung Betriebs- temp. C°	Abspann- abschnitt	von Mast	bis Mast	Objektart	Kreis	Gemarkung	Flur	Flur- stücks Nr.	Abstand vom linken Mast zum Objekt	seitl.Abstand von Objekt zur Achse (+ rechts) (- links)	Höhe über NN von Objekt	Abstand vom linken Mast zum Flurstück	seitl. Abstand von Flurstück zur Achse (+ rechts) (- links)	Höhe über NN von Flurstück	Maximale elektrische Feldstärke (kV/m)	Maximale Magnetische Feldstärke (µT)
IMMI 1	LH-06-B175	80°	6A-7A	6A	7A	Lager BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH, Standort Isar Dammstraße 32, 84051 Essenbach	Landshut		X	587	236,3	-6,4	378,346	0,0	0,0	372,576	1,1	37,6
IMMI 2	LH-06-B175	80°	6A-7A	6A	7A	Kläranlage Dammstraße 1, 84051 Essenbach	Landshut		X	570	310,5	-36,6	379,583	310,1	-13,0	374,283	1,0	15,7
IMMI 3	LH-06-B176	80°	6B-/B	6B	7B	Verwaltungsgebäude PreussenElektra GmbH - Kernkraftwerk Isar Dammstraße, 84051 Essenbach	Landshut		X	587	290,0	32,5	381,476	0,0	0,0	375,276	0,4	5,7
IMMI 4	LH-06-B175	80°	6A-7A	6A	7A	Gewerbegebäude PreussenElektra GmbH - Kernkraftwerk Isar Dammstraße, 84051 Essenbach	Landshut		X	575	374,0	14,9	375,092	328,1	0,0	373,342	0,6	16,4

An jedem maßgeblichen Immissionsort werden Berechnungen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte durchgeführt. Befinden sich in einem Spannfeld (=Bereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Masten) mehrere maßgebliche Immissionsorte, dann wird für das Objekt mit der höchsten magnetischen Flussdichte-Exposition in diesem Spannfeld die „Anzeige einer Niederfrequenzanlage“ gem. § 7 Abs. 2 der 26. BImSchV ausgefüllt und übermittelt sowie mit dem Wort "betrachtet" in der Liste mit den Anzeigeobjekten gekennzeichnet.

**Maßgebliche Immissionsorte durch Neubau der
380-kV-Leitung A810: Isar - Altheim
0**

Berechnungsnachweis

Datum: 26.10.2023
Erfasser: Döpel

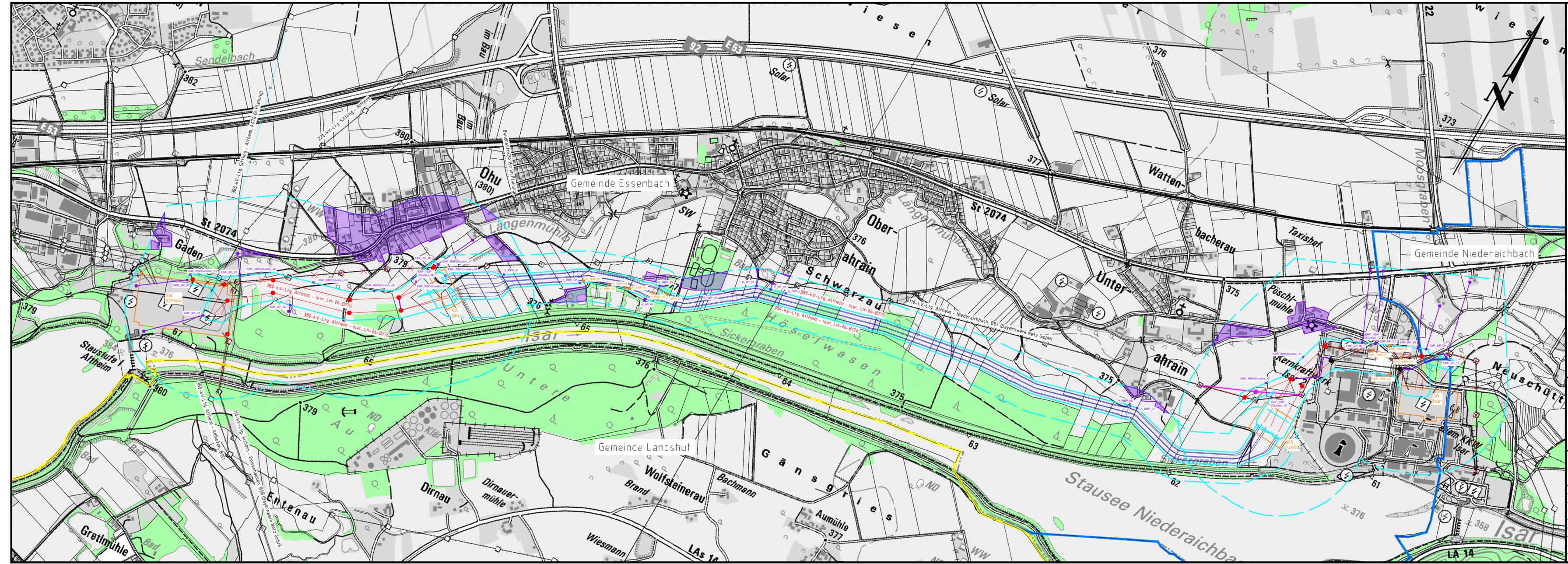
Bündelbelegung

4er-Bündel • • • 3er-Bündel • • 2H (Horizontal) • • 2V (Vertikal) • •

Lfd. Nr. Berechnet	Minimaler Bodenabstand ermittelt nach DIN VDE 0210 (m)	maximaler Durchhang (m)	ja:nur Berechnung betrachtet: an Behörde einzeichnen	Stromkreis	Bündel und Leitertyp	Bündelart: 1; 2H/2V; 3; 4	Erdseil	max. Betriebs- spannung in kV	maximaler Strom in A
IMMI 1	12,88	24,53	betrachtet	System 1: AHM-IS 473 L3[C] / L2[A] / L1[B]	2x3x4 AL1/ST1A 565/72	4	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	420	4000
			betrachtet	System 3: NAI/GUM/GRHF/DGF 115 L3[I] / L2[H] / L1[G]	2x3x2 AL/ST1A 565/72	2H	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	123	2216
IMMI 2	12,88	24,53	ja	System 1: AHM-IS 473 L3[C] / L2[A] / L1[B]	2x3x4 AL1/ST1A 565/72	4	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	420	4000
			ja	System 3: NAI/GUM/GRHF/DGF 115 L3[I] / L2[H] / L1[G]	2x3x2 AL/ST1A 565/72	2H	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	123	2216
IMMI 3	17,84	14,36	ja	System 3: AHM-IS 475 L3[C] / L2[A] / L1[B]	1x3x4 AL1/ST1A 565/72	4	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF	420	4000
			ja	X	X	X	X	X	X
IMMI 4	12,88	24,53	ja	System 2: AHM-IS 474 L3[E] / L2[D] / L1[F]	2x3x4 AL1/ST1A 565/72	4	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	420	4000
			ja	System 4: NAI 114 L3[U] / L2[K] / L1[L]	2x3x2 AL/ST1A 565/72	2H	OPGW-DS(S)3 B2x24SMF E31/32/33	123	2216

110-/380-kV-Leitung Altheim - Isar
PFA 1: Altheim - Isar / LH-06-B175 / LH-06-B176

Übersichtsplan EMF



Legende:

Kabel: Crossbondingmuffe, Verbindungsmuffe

Freileitung: Mastnummer Masttyp, Bauwerksnummer Leitungsbezeichnung, Trassenachse Rückbau, Neubau in vorhandener Achse

Grenzen: Land, Kreis, Stadt/Gem.

Berechnungspunkt (red dot), **Immissionsort (Singulär)** (orange dot), **Immissionsort (Cluster)** (purple polygon), **Umring Umspannwerk** (orange rectangle), **Provisorium (Freileitung)** (pink line), **Provisorium (Baueinsatzkabel)** (purple line), **Erdverkabelung** (blue line), **geplante Infrastruktur** (cyan line)

Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung

Planfeststellungsunterlage

Aufgestellt
Bayreuth,

Firma OHS Worms	Maßstab: 1:10000	Einheit: Meter
	Bezugssystem: ETRS89 UTM32	
	Datum	Name
	Bearb. 16.10.2023	Breitwieser
	Gepr. 18.10.2023	Hirschberg



Zust.	Änderung	Datum	Name

Behördenvermerk:

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:	1.9.2017
PRODUCT RELEASE DATE:	1.9.2017	VERSION:	>= V2018

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" 065 Berlin, Tel 786 63 89, Fax 786 63 89
 Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie GmbH
 Yorckstr. 60, 10585 Berlin