



Industrie Service

**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

Gutachten elektromagnetische Felder

Immissionsschutzrechtliche Ersteinschätzung (ISE) im Rahmen der strategischen Umweltprüfung (SUP) für die Erdkabeltrasse des Vorhabens SüdOstLink – Abschnitt B

Verfahren:	Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung – SüdOstLink - Vorhaben 5, Wolmirstedt – Isar	
Verfahrensführende Behörde	Bundesnetzagentur, Netzausbau Postfach 8001, 53105 Bonn	
Antragssteller / Betreiber:	<u>Abschnitt A/B:</u> 50 Hertz Transmission GmbH Heidestraße 2 10557 Berlin	<u>Abschnitt C/D:</u> TenneT TSO GmbH Bernecker Straße 70 95448 Bayreuth
Auftraggeber des Gutachtens:	Arcadis Germany GmbH Europaplatz 3 64293 Darmstadt	Datum: 15.11.2018 Unsere Zeichen: IS-USG-MUC/dr.gri
Ziel der Untersuchung:	Immissionsschutzrechtliche Ersteinschätzung (ISE) der Immissionen der magnetischen Gleichfelder ausgehend von der HGÜ-Erdkabeltrasse des Vorhabens SüdOstLink	Das Dokument besteht aus 24 Seiten. Seite 1 von 24
Bestellnummer:	Vertrag vom 06.06.2018	
Auftrags-/Bericht-Nr.:	2 791 883-EMF v2.1 - B	
Sachverständiger:	Dr. Thomas Gritsch Telefon: 089/5791-1110 Telefax: 089/5791-1098 E-Mail: thomas.gritsch@tuev-sued.de	Die auszugsweise Wiedergabe des Dokumentes und die Verwendung zu Werbezwecken bedürfen der schriftlichen Genehmigung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.
Berichtsumfang:	24 Seiten Abteilung Umwelt Service Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	

Stempel

Dr. Thomas Gritsch
Öffentlich bestellter und beeidigter Sachverständiger für
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (EMVU)



Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
UST-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter www.tuev-sued.de/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Christian Bauerschmidt, Thomas Kainz

Telefon: +49 89 5791-1040
Telefax: +49 89 5791-1098
www.tuev-sued.de/is
TÜV®

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Niederlassung München
Abteilung Umwelt Service
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Prüfgrundlagen.....	4
3	Ausgangssituation	4
3.1	Örtliche Verhältnisse	4
3.2	Technische Parameter der Erdkabeltrasse.....	5
4	Ermittlungsverfahren	6
5	Rechtliche und normative Grundlage – 26. BImSchV	6
5.1	Anwendungsbereich und maßgebliche Immissionsorte	6
5.2	Höchste betriebliche Anlagenauslastung.....	7
5.3	Berücksichtigung aller relevanten Immissionen	7
6	Berechnung der Immissionswerte.....	7
6.1	Immissionswerte des magnetischen Gleichfelds B für die 2 x 320 kV Planung.....	8
6.2	Immissionswerte des magnetischen Gleichfelds B für die 525 kV (Alternative)	9
7	Anwendung des Minimierungsgebots von §4 Abs. (2) der 26. BImSchV	11
7.1	Vorprüfung nach 26. BImSchVVwV	11
7.2	Minimierungsmaßnahmen für die HGÜ-Erdkabeltrasse (2 x 320 kV-Variante)	12
7.2.1	Minimierung der Kabelabstände	12
7.2.2	Optimierung der Polanordnung.....	13
7.2.3	Optimierung der Verlegetiefe.....	15
7.3	Minimierungsmaßnahmen für die HGÜ-Erdkabeltrasse (525 kV-Variante)	16
7.3.1	Optimierung der Verlegetiefe.....	16
7.4	Fazit Minimierungsmaßnahmen	18
7.5	Beispiel für maßgeblichen Minimierungsort	19
7.5.1	Abschnitt B – Bereich Caaswitz.....	19
8	Zusammenfassung und Bewertung	20
9	Identifizierung möglicher Konfliktbereiche.....	21
10	Anhang	22
10.1	Berechnung der Unsicherheit nach DIN EN 50413.....	22
10.2	Literatur.....	23
10.3	Glossar.....	24

Dieses Gutachten darf ohne schriftliche Genehmigung TÜV SÜD Industrie Service GmbH auch auszugsweise nicht vervielfältigt oder veröffentlicht werden. Kopien für behörden- und/oder betriebsinterne Zwecke sowie Kopien, die zur Durchführung des Genehmigungsverfahrens erforderlich sind, bedürfen keiner Genehmigung.
Die in diesem Gutachten enthaltenen gutachtlichen Aussagen sind nicht auf andere Anlagen bzw. Anlagenstandorte übertragbar.

1 Aufgabenstellung

Bei dem Projekt SüdOstLink (SOL) handelt es sich um das Vorhaben 5 (Wolmirstedt – Isar, Gleichstrom), Anlage zu § 1 Abs. 1 des Bundesbedarfsplangesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2543; 2014 I S. 148, 271), zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1786). Das Vorhaben ist nach § 3 Abs. 1 i. V. m. § 2 Abs. 5 BBPlG eine Leitung zur Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) und aufgrund seiner Kennzeichnung mit „E“ als Erdkabel auszuführen. Bei HGÜ handelt es sich um eine Technologie zur verlustarmen Übertragung von elektrischer Energie mit Gleichstrom.

Die Bundesnetzagentur (BNetzA) hat ein „Pflichtenheft“ übergeben, in dem Vorgaben für die Erstellung der SUP im Zuge der §-8-NABEG-Unterlagen (vergleichbar einem Raumordnungsverfahren) zusammengestellt sind. Darin wird gefordert:

Es ist eine Immissionsschutzrechtliche Ersteinschätzung zu erstellen. Darin ist nachzuweisen, dass die für magnetische Felder sowie durch Lärm bei diesem Vorhaben zu erwartenden Emissionen und Immissionen die Grenzwerte der 26. BImSchV bzw. die einschlägigen Immissionsrichtwerte für Schall eingehalten werden können. Ziel ist es, zu prüfen, ob die Realisierung des Vorhabens unter Annahme der potenziellen Trassenachse in einem zu untersuchenden Trassenkorridor bzw. in dessen Teilabschnitt unter Einhaltung der Grenzwerte möglich ist. Die Prüfung hat im Hinblick auf die magnetische Flussdichte bzw. Schall auf Grundlage der §§ 22 f. BImSchG, § 3a der 26. BImSchV bzw. auf der AVV Baulärm zu erfolgen. Die Gliederung der Immissionsschutzrechtlichen Ersteinschätzung soll dabei nach den einzelnen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen getrennt erfolgen.

Den Ausgangspunkt bildet die Identifizierung potenzieller Konfliktbereiche. Mit der gutachterlichen Beurteilung der Immissionsorte mit der größten bzw. höchsten Belastung werden Rückschlüsse auf alle anderen Trassenkorridorabschnitte getroffen (Erst-Recht-Schluss). Die Auswahl der in den Gutachten zu untersuchenden Immissionsorte ist im Vorfeld mit der Bundesnetzagentur abzustimmen. Die der Betrachtung zugrunde gelegten Konfliktbereiche sind kartographisch und tabellarisch abzubilden.

Detailliertere Betrachtungen sind nur durchzuführen, falls die Einhaltung der Immissionsgrenzwerte überschlägig nicht nachgewiesen werden kann. Eventuell den Betrachtungen zugrunde gelegte Minderungsmaßnahmen sind konkret aufzuführen. Ergänzend ist darzustellen und zu begründen, inwiefern die Anforderungen zur Vorsorge bereits auf der Ebene der Bundesfachplanung berücksichtigt werden. Die Ermittlung der Immissionsorte erfolgt nach Maßgabe der Ausführungen unter Ziffer 4.1.3.1 des vorliegenden Untersuchungsrahmens. Dabei sind in der Strategischen Umweltprüfung und in der immissionsschutzrechtlichen Ersteinschätzung dieselben Immissionsorte zugrunde zu legen.

Im vorliegenden Gutachten wird im ersten Schritt ausschließlich die Immissionsauswirkung für das magnetische Gleichfeld ausgehend von den Erdkabeln auf Basis der Anforderungen der 26. BImSchV ermittelt und beurteilt. Die lärmtechnische Beurteilung des Erdkabels und der

Bautätigkeit erfolgt im gesonderten Bericht F17/433-LG vom 15.06.18. In einem zweiten Schritt erfolgt dann erst die Bewertung der Konverterstationen.

2 Prüfgrundlagen

Grundlage der Beurteilung sind folgende Gesetze, Technische Regelwerke, Pläne und sonstige Unterlagen:

- [1] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16.12.1996 (BGBl. I S. 1966), zuletzt geändert am 14. August 2013 durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung der Vorschriften über elektromagnetische Felder und das telekommunikationsrechtliche Nachweisverfahren (BGBl. I vom 21.08.2013 Nr. 50 S. 3266)
- [2] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung) des Länderausschusses für Immissionsschutz; 128. Sitzung, September 2014
- [3] 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
- [4] Handlungsempfehlung für EMF- und Schallgutachten zu Hoch- und Höchstspannungstrassen in Bundesfachplanungs-, Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren, Stand: 01. August 2017
- [5] Technische Daten der Erdkabeltrasse (E-Mail Hr. Dr. Grosser vom 09. Mai 2018)

3 Ausgangssituation

3.1 Örtliche Verhältnisse

Im Augenblick wird von einer Erdverkabelung mit 320 kV ausgegangen, wobei in zwei parallel laufenden Leitungsgräben jeweils 2 Kabel (Plus/Minus) verlegt werden, also insgesamt vier Kabel. Alternativ wird eine Erdverkabelung mit nur zwei Kabeln (Plus/Minus) mit einer Nennspannung von 525 kV erwogen, soweit bis zum Realisierungszeitpunkt zuverlässige Kabel für diese hohen Spannungen kommerziell erhältlich sind.

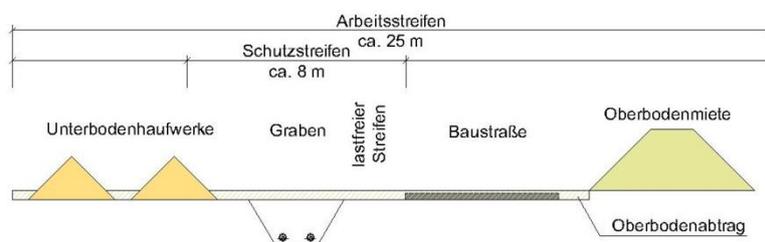


Abb. 1: Musterquerschnitt Arbeits- und Schutzstreifenbreite für 525 kV, zwei Kabel/Schutzrohre in einem Graben mit 2-facher Trennung des Unterbodens

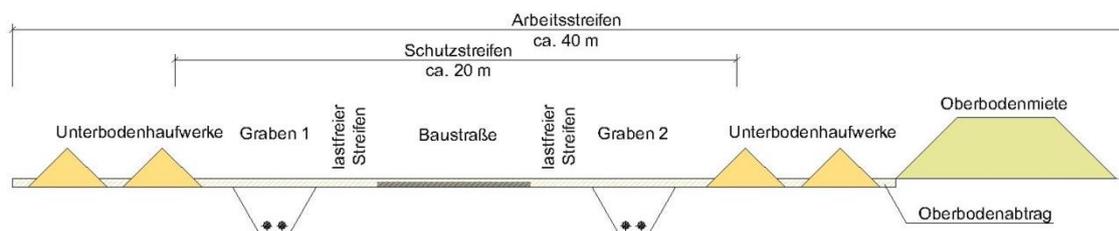


Abb. 2: Musterquerschnitt Arbeits- und Schutzstreifenbreite für 320 kV, je zwei Kabel / Schutzrohre in jeweils einem Graben mit 2-facher Unterbodentrennung; Baustraße zwischen den Gräben

Über der Trasse wird ein Schutzstreifen mit ca. 20 m Breite ausgewiesen, der vollständig frei von Bebauung ist. Die nächste Wohnbebauung ist in einem Abstand von 25 m zur Trassenmitte zu erwarten.

3.2 Technische Parameter der Erdkabeltrasse

Von der GIFTGE Consult, Herr Lothar Grosser, wurden uns am 09.05.18 folgende technischen Parameter genannt, die Grundlage für die Begutachtung waren:

	Planung Vorhabenträger	Alternative Variante
Kabeltyp:	Vernetztes Polyethylen (XLPE) Kabel	
Anzahl Kabel, gesamt:	4	2
Frequenz:	0 Hz	
Nennspannung:	320 kV	525 kV
Nennstrom:	1700 A	2100 A
Leitermaterial:	Aluminium	Kupfer
Leiterquerschnitt je Kabel:	2500 mm ²	2500 mm ²
Kabelaußendurchmesser:	12,4 cm	14,5 cm
Systemabstand (Polmitte):	5 m	-
Abstand der Pole (Kabel) innerhalb eines Systems: (20 cm lichte Weite der Kabelaußendurchmesser)	32,4 cm im Einzelnen bedeutet dies ¹ : -2,662 m -2,338 m 2,338 m 2,662 m	34,5 cm im Einzelnen bedeutet dies: -0,1725 m 0,1725 m
geplante Überdeckung bezogen auf die Kabelmitten:	1,5 m	

Tab. 1: Technische Parameter der Erdkabeltrasse

Ein System besteht jeweils aus einem Hin- und Rückleiter bezeichnet mit Plus und Minus. Die

¹ Der Nullpunkt des Koordinatensystems wurde in der Mitte der Trasse gewählt.

jeweiligen Ströme von Hin- und Rückleiter wurde als gleich hoch angenommen. Die Berechnung wurde mit den Nennstrom und der Nennspannung durchgeführt.

Es wurde in dieser Phase des Verfahrens keine Oberwellenanteile bei der Bewertung in Betracht gezogen, da hierüber noch keine verlässlichen Angaben vorlagen. Die Konverter werden so ausgelegt, dass auch mit voraussichtlich auftretender Oberwellen, die durch das System emittiert werden, die Grenzwerte der 26. BImSchV sicher eingehalten werden. Die Konverter sind jedoch nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

4 Ermittlungsverfahren

Zur Ermittlung der magnetischen Flussdichte wurden Querprofile durch die Leitertrasse auf Grundlage der höchsten Anlagenauslastung berechnet.

Die Berechnung wurde mit dem Programm Winfield (EFC 400 LF, Version 2015) berechnet. Der Hersteller, die Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie – FGEU mbH, Berlin, gibt im Herstellerzertifikat einen maximalen Berechnungsfehler von 0,00001 % für die magnetische Flussdichte an. Die erweiterte Standardunsicherheit der gesamten Berechnung gemäß DIN EN 50413, wie im Anhang dargestellt, ist dann mit 5,4 % anzugeben.

5 Rechtliche und normative Grundlage – 26. BImSchV

Aufgrund § 3a, Abs. (1) der 26. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16.12.96 (BGBl I 66 S. 1966ff) in der Fassung vom 14. August 2013 sind zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen Gleichstromanlagen so zu errichten und zu betreiben, dass in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung der in Anhang 1a der 26. BImSchV genannte Grenzwert für die magnetische Flussdichte von 500 μ T nicht überschritten wird. Der Grenzwert ist laut LAI 2014 [2] so gewählt, dass Störbeeinflussungen von Herzschrittmachern durch statische Felder ausgeschlossen werden können.

Für die hier vorliegende HGÜ-Erdkabel reicht die Ermittlung und Bewertung der magnetischen Flussdichte aus. Die elektrischen Felder werden vom Kabelschirm vollständig abgeschirmt und spielen damit für den Immissionsschutz keine Rolle. Hiermit entfällt auch die Betrachtung von erheblichen Belästigungen oder Schäden durch Funkentladungen zwischen leitfähigen Objekten.

5.1 Anwendungsbereich und maßgebliche Immissionsorte

Die Anforderungen für Gleichstromanlagen sind an allen Orten einzuhalten, die zum dauerhaften oder vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Ein vorübergehender Aufenthalt setzt eine gewisse Verweildauer einer einzelnen Person voraus.

Maßgebliche Immissionsorte sind Orte, die sich im Einwirkungsbereich einer ortsfesten elektrotechnischen Anlage befinden, die mit Gleichstrom mit einer Nennspannung von mehr als 2.000 Volt betrieben wird. Gemäß Abs. II.3a.2 der Hinweise des LAI zur Durchführung der 26. BImSchV [2] ist dazu ein Streifen von 1 m Breite angrenzend an äußersten Leiter der Erdkabeltrasse zu betrachten, was einer Entfernung von 3,66 m zur Trassenmitte entspricht.

Die Betrachtungen bzw. Berechnungen basieren auf dem aktuellen Planungs- und Kenntnisstand zur Trasse.

5.2 Höchste betriebliche Anlagenauslastung

Für die Immissionsauswirkung der Anlage ist die magnetische Feldstärke bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln. Diese ist laut 26. BImSchV nicht durch die tatsächliche zu erwartende maximale Auslastung der Anlage, sondern durch eine technische Grenze charakterisiert, wie den thermischen maximal zulässigen Dauerstrom in den Erdkabeln des verwendeten Leiterquerschnitts.

5.3 Berücksichtigung aller relevanten Immissionen

Gemäß Abs. II.3a.5 LAI 2014 [2] ist die Vorbelastung von anderen Gleichstromanlagen im Einwirkungsbereich zu berücksichtigen, wenn sie relevant zur Immission beitragen. Die Immissionen von Gleichstrom und Niederfrequenzanlagen sind dabei getrennt zu betrachten.

Quellen magnetischer Gleichfelder	magnetisches Gleichfeld B
Straßen- oder U-Bahn Fahrgastraum 1 m von der Bahnsteigkante	150 µT bis 350 µT 50 µT bis 110 µT
Dauermagnet (z.B. Anstecker, Magnetwand)	500 µT bis 4.000 µT
Lautsprecher (Telefonhörer, Headset)	80 µT bis 1000 µT
Variation des magnetische Gleichfelds in einem typischen Büroraum mit Möbeln	20 µT bis 110 µT
Kernspintomograph Personal Patienten in der Röhre	- 100.000 µT - 7.000.000 µT

Tab. 2: Typische Wert für magnetische Gleichfelder (Quelle [6] und eigene Messungen)

6 Berechnung der Immissionswerte

Anhand den in Abschnitt 3.2 dargestellten technischen Daten der Erdkabeltrasse wurde eine Querprofil des magnetischen Felds für die Erdkabeltrasse berechnet.

Dargestellt ist einerseits die flächige Verteilung der magnetischen Flussdichte sowie der Verlauf der magnetischen Flussdichte in 0 m Höhe über dem Erdboden als ungünstigster Fall.

6.1 Immissionswerte des magnetischen Gleichfelds B für die 2 x 320 kV Planung

Die folgenden Abbildungen zeigen die Feldverteilung für das magnetische Gleichfeld bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung für die 2 x 320 kV Planung.

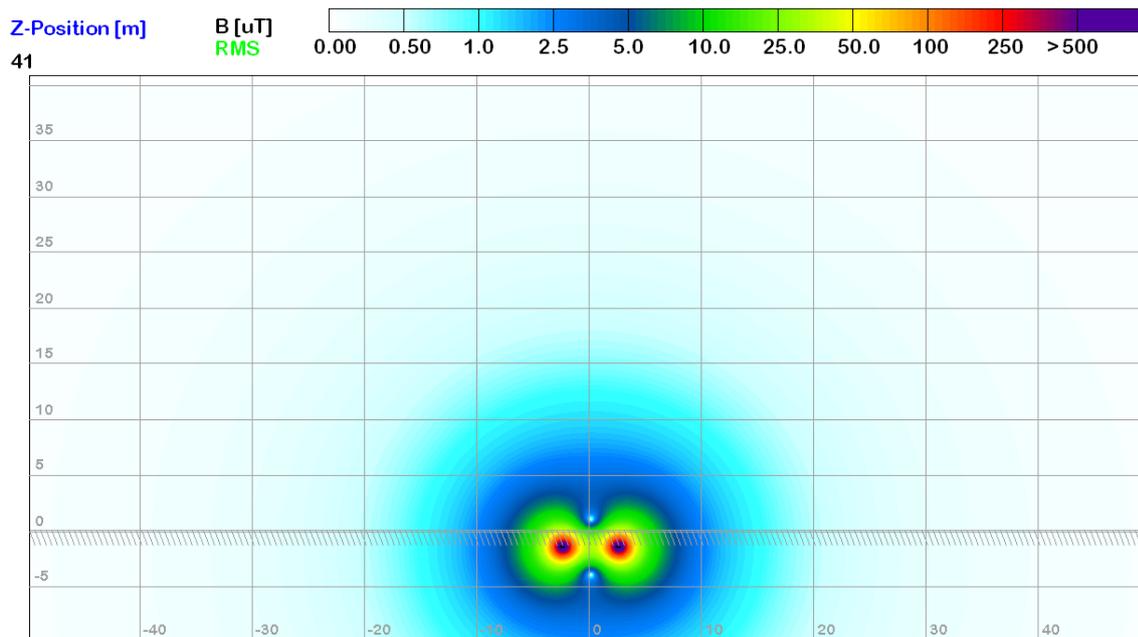


Abb. 3: Verteilung der magnetischen Flussdichte rund um die Erdkabeltrasse – 2 x 320 kV

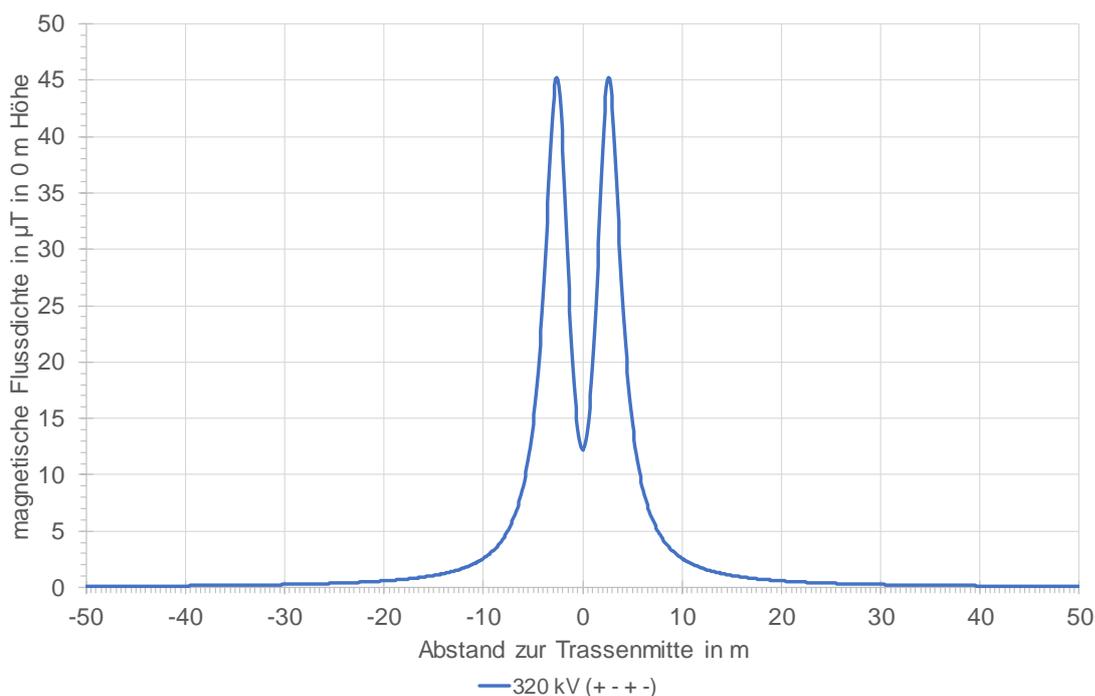


Abb. 4: Verlauf der magnetischen Flussdichte B in 0 m Höhe quer zur Trasse

Immissionsort	magn. Flussdichte B	Auslastung des Grenzwerts der 26. BImSchV von 500 μT
Trassenmitte	12,6 μT	2,5 %
2,5 m Abstand zur Trassenmitte über System – Höchster Wert über Trasse	45,3 μT	9,1 %
3,7 m Abstand zur Trassenmitte, Rand des Einwirkungsbereichs	30,6 μT	6,1 %
10 m Abstand zur Trassenmitte, Rand des Schutzstreifens	2,6 μT	0,5 %
25 m Abstand zur Trassenmitte, Nächste Bebauung	0,37 μT	< 0,1 %

Tab. 3: Immissionswerte in 0 m Höhe bei **höchster betrieblicher Anlagenauslastung**

Direkt über der Trasse werden – bei Bau nach derzeitiger Planung (1,5 m Überdeckung, 5 m Abstand der Systeme, Kabelpole + - + -) – mit der voraussichtlich stärksten Exposition der Grenzwert der 26. BImSchV für die magnetische Flussdichte sicher eingehalten. Maximal werden direkt über den Kabeln 45,3 μT oder 9,1 % vom Grenzwert erreicht.

6.2 Immissionswerte des magnetischen Gleichfelds B für die 525 kV (Alternative)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Feldverteilung für das magnetische Gleichfeld bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung für die 525 kV Alternative.

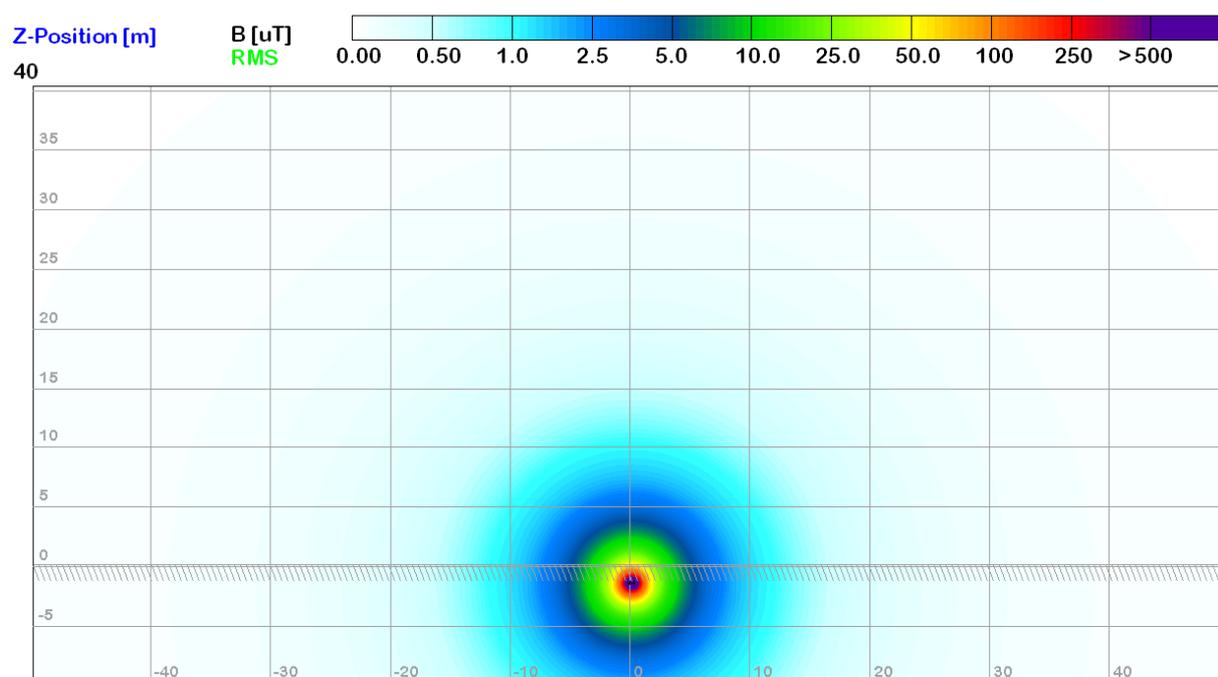


Abb. 5: Verteilung der magnetischen Flussdichte rund um die Erdkabeltrasse - 525 kV

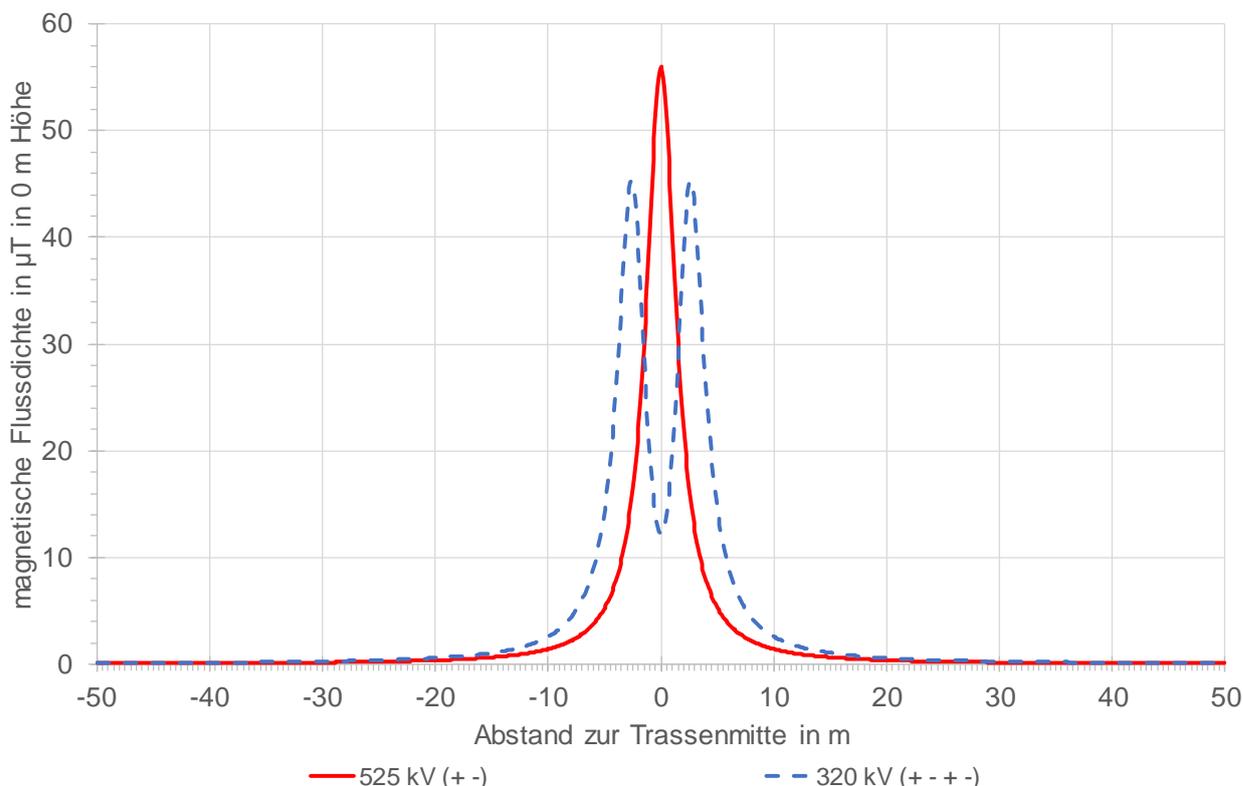


Abb. 6: Verlauf der magnetischen Flussdichte B in 0 m Höhe quer zur Trasse für das 525 kV – System (zum Vergleich ist die 2 x 320 kV-Variante gestrichelt hinterlegt)

Immissionsort	magn. Flussdichte B	Auslastung des Grenzwerts der 26. BImSchV von 500 µT
Trassenmitte – Höchster Wert über Trasse	55,9 µT	11,2 %
2,7 m Abstand zur Trassenmitte, Rand des Einwirkungsbereichs	14,7 µT	2,9 %
10 m Abstand zur Trassenmitte, Rand des Schutzstreifens	1,4 µT	0,3 %
25 m Abstand zur Trassenmitte, Nächste Bebauung	0,23 µT	< 0,1 %

Tab. 4: Immissionswerte in 0 m Höhe bei **höchster betrieblicher Anlagenauslastung**

Direkt über der Trasse werden – bei Bau nach derzeitiger Planung (1,5 m Überdeckung) – mit der voraussichtlich stärksten Exposition der Grenzwert der 26. BImSchV für die magnetische Flussdichte sicher eingehalten. Maximal werden direkt über den Kabeln 55,9 µT oder 11,2 % vom Grenzwert erreicht.

7 Anwendung des Minimierungsgebots von §4 Abs. (2) der 26. BImSchV

Laut §4 Abs. (2) der 26. BImSchV sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Die nähere Vorgehensweise regelt die 26. BImSchVVwV.

Die konkrete Abarbeitung der Anforderungen der 26. BImSchVVwV erfolgt im Planfeststellungsverfahren. Im Folgenden werden daher nur konzeptionelle Überlegungen dargestellt ohne Bezug auf konkrete Minimierungsorte.

Anfangs ist eine Vorprüfung durchzuführen.

7.1 Vorprüfung nach 26. BImSchVVwV

Die Neuerrichtung der HGÜ-Erdkabeltrasse ist als Neubau anzusehen. Der Einwirkungsbereich einer Gleichstrom-Erdkabeltrassen mit einer Nennspannung von zwischen 300 kV und 500 kV beträgt laut Abs. 3.2.1.2 der 26. BImSchVVwV 15 m, ab einer Nennspannung von 500 kV 20 m, jeweils bezogen auf die Bodenprojektion des äußeren Kabels des Erdkabels. Der Bewertungsabstand beträgt unabhängig von der Spannung durchgängig 5 m.

Bezogen auf die Trassenmitte betragen diese Abstände:

Variante	Einwirkungsbereich	Bewertungsabstand
2 x 320 kV	17,7 m	7,7 m
1 x 525 kV	20,2 m	5,2 m

Tab. 5: Einwirkungs- und Bewertungsabstände laut 26. BImSchVVwV

Die Bewertung hat laut Abs. 4 der 26. BImSchVVwV in 1 m Höhe über dem Boden zu erfolgen. Zunächst muss bestimmt werden, ob es sich um einen maßgeblichen Minimierungsort (MMO) handelt. Anschließend ist eine Untersuchung des Minimierungspotential für die Mitte des MMO durchzuführen.

Im derzeitigen Verfahrensstadium ist die Trassierung noch nicht festgelegt, insofern können auch noch keine konkreten Minimierungsorte bestimmt werden. Abweichend von den maßgeblichen Immissionsorten beziehen sich maßgebliche Minimierungsorte laut Abs. 2.11 der 26. BImSchVVwV auf im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage liegende Gebäude oder Grundstücke im Sinne des §4 Abs. 1 26. BImSchV, sowie jedes Grundstück oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. §4 Abs. 1 26. BImSchV bezieht sich auf Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen und den zugehörigen Grundstücken. Keine maßgeblichen Minimierungsorte sind damit landwirtschaftliche Flächen, nur landwirtschaftliche genutzte Gebäude wie Scheunen etc. und Wege und Straßen.

Deswegen wird im Folgenden nur prinzipiell das Minimierungspotential der verschiedenen Maßnahmen für die Erdkabeltrasse aufgezeigt, ohne näher zu prüfen, ob die Maßnahme im konkreten Fall verhältnismäßig ist.

7.2 Minimierungsmaßnahmen für die HGÜ-Erdkabeltrasse (2 x 320 kV-Variante)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Auswirkung auf die Feldverteilung bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung für das magnetische Feld unter Anwendung verschiedenen Minimierungsmaßnahmen.

7.2.1 Minimierung der Kabelabstände

Maßnahme	Die Kabel werden mit möglichst geringen Abständen zueinander verlegt; hierzu gehört auch die Minimierung der Kabelabstände innerhalb eines Stromkreises und zu anderen Stromkreisen.
lt. 26. BImSchVVwV:	
Anmerkung:	Hinsichtlich des Abstands der Pole ist eine weitere Annäherung aufgrund der thermischen Belastung der Kabel nicht möglich, daher wurde nur eine Verringerung der Systemabstände von 5 m auf 3 m geprüft.
Ergebnis:	Die maximale magn. Flussdichte in 1 m Höhe wird durch diese Maßnahme von 16,2 μT auf 18,3 μT erhöht. Bis zu 2,7 m Abstand von der Trassenmitte ergibt sich eine Erhöhung des Magnetfelds, zwischen 2,7 m und ca. 10 m eine leichte Reduzierung und ab 10 m Abstand ist kein signifikanter Unterschied mehr feststellbar.
Bewertung:	Die Maßnahme führt nur in einem engen Streifen zwischen 2,7 m und 10 m Abstand zur Trassenmitte zu einer leichten Reduzierung des Magnetfelds. Die Wirksamkeit ist in diesem Streifen gering. In anderen Entfernung ist die Maßnahme wirkungslos oder führt sogar zu einer Verschlechterung der Werte.

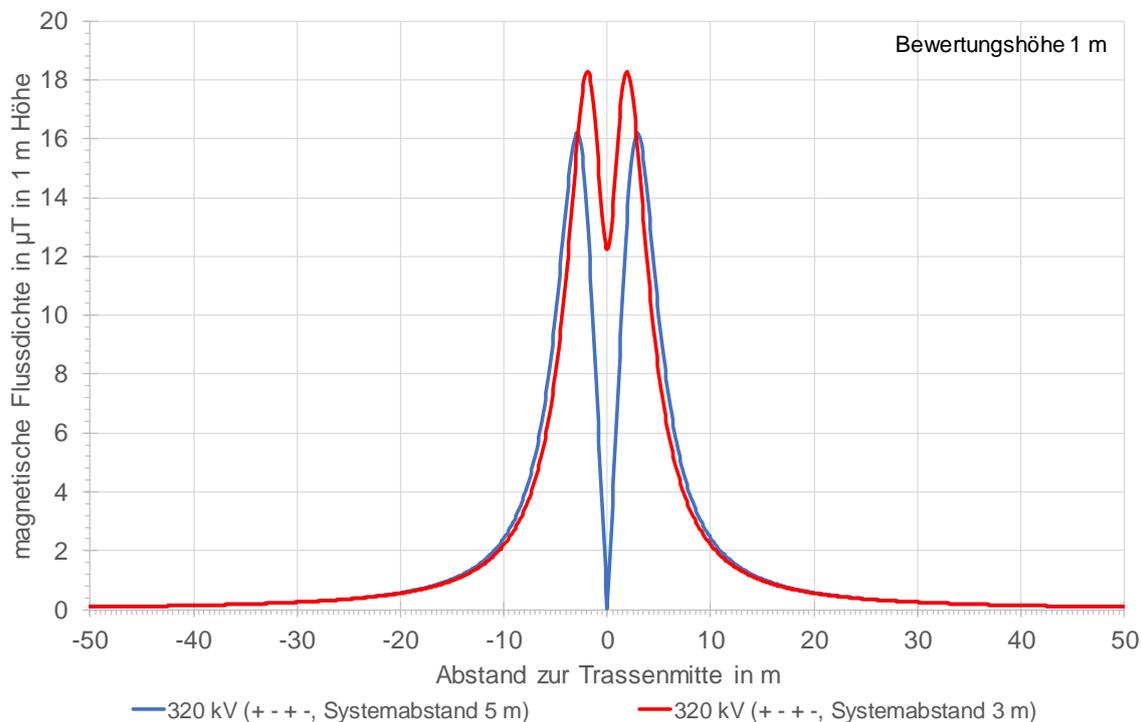


Abb. 7: Veränderung des Verlaufs des magnetischen Gleichfelds durch die Verringerung des Systemabstands

7.2.2 Optimierung der Polanordnung

Maßnahme Bei einer vorgegebenen geometrischen Leiteranordnung wird die Anschlussreihenfolge der positiven und negativen Pole an die Erdkabel so gewählt, dass sich die von den Kabeln ausgehenden magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.

Anmerkung: Bei zwei Systemen mit je zwei Polen – Plus und Minus – gibt es nur zwei prinzipiell verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten: „+ - + -“, und „+ - - +“. ²Die Anordnung „+ - - +“ ist dabei identisch zur Anordnung „- + + -“.

Ergebnis: Direkt über der Trasse erhöht sich die maximale magn. Flussdichte in 1 m Höhe durch die Polanordnung „+ - - +“ von 16,2 μT auf 20,4 μT . Ab einem Abstand von 3,6 m von der Trassenmitte ergibt sich jedoch eine wirkungsvolle Reduzierung des Magnetfelds wie Abb. 9 deutlich zeigt.

Bewertung: Die Maßnahme führt ab 3,6 m Abstand zur Trassenmitte zu einer wirkungsvollen Reduzierung des Magnetfelds. Solange sich keine maßgeblichen Minimierungsorte direkt über den Kabelleitungen befinden, ist daher die Polanordnung „+ - - +“, der Anordnung „+ - + -“, vorzuziehen.

² Die Anordnung „+ - - +“ ist dabei identisch zur Anordnung „- + + -“, ebenso wie „+ - + -“, der Anordnung „- + - +“ entspricht. Unterschiede können sich nur in Überlagerung mit der Vorbelastung ergeben.

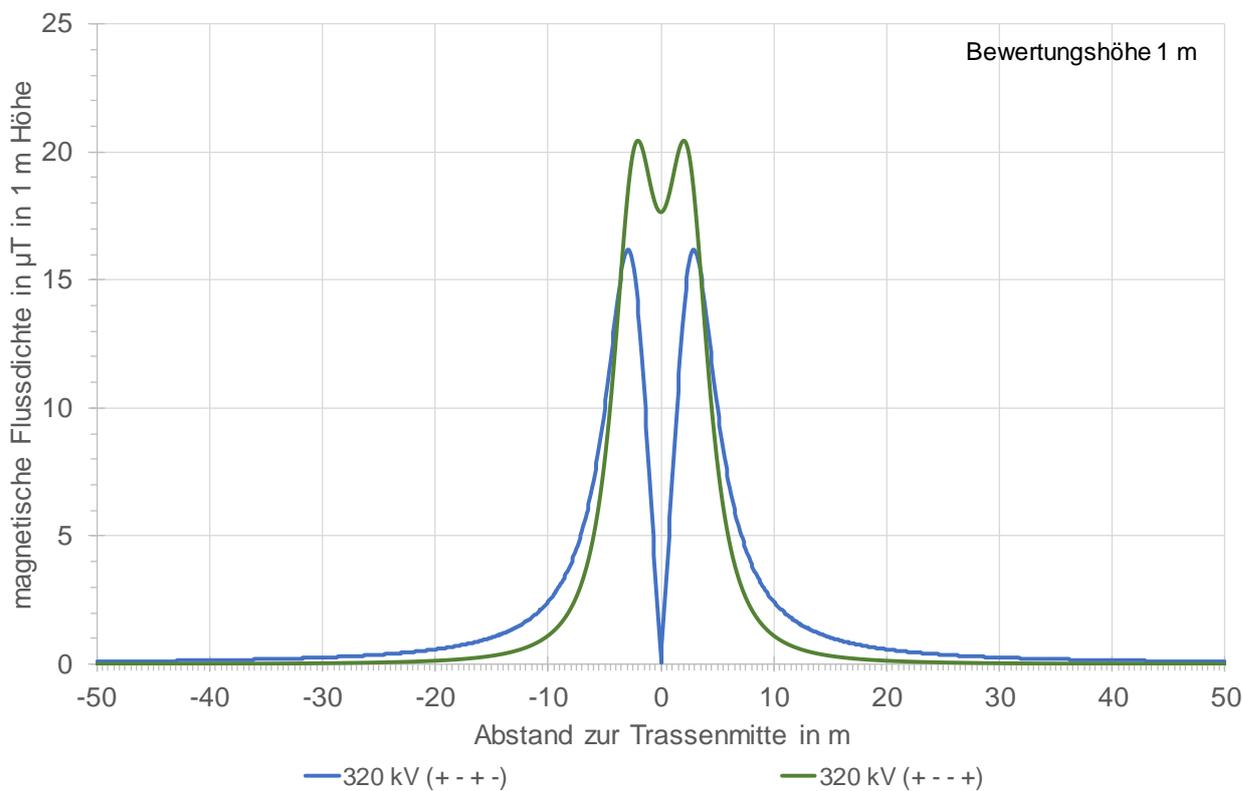


Abb. 8: Verlauf des magnetischen Gleichfelds für die beiden Polanordnungen – lineare y-Achse

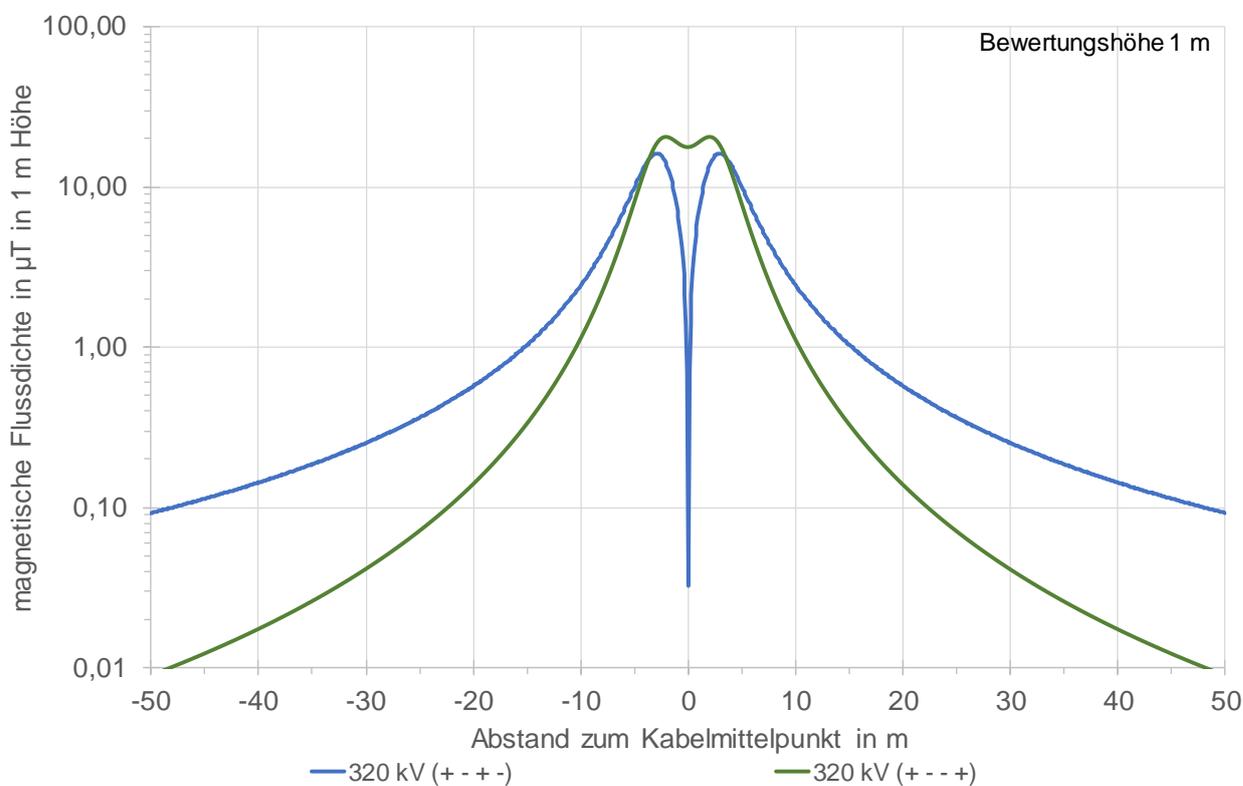


Abb. 9: Verlauf des magnetischen Gleichfelds für die beiden Polanordnungen – logarithmische y-Achse

7.2.3 Optimierung der Verlegetiefe

Maßnahme Die Erdkabel werden tief im Boden verlegt.

lt. 26. BImSchVVwV:

Anmerkung: Die Bodenbeschaffenheit und die vor Ort vorhandene Infrastruktur müssen für eine tiefe Verlegung geeignet sein.

Ergebnis: Direkt über den Kabeln reduziert sich die maximale magn. Flussdichte in 1 m Höhe durch die tiefere Verlegung von 16,2 μT bei 1,5 m Überdeckung, über 11,5 μT bei 2 m Überdeckung auf 8,8 μT bei 2,5 m Überdeckung. Jedoch führt die Maßnahme in der Trassenmitte zu einer Erhöhung der Magnetfeldwerte und ab einem Abstand von 10 m von der Trassenmitte ergibt sich keine wirkungsvolle Reduzierung des Magnetfelds mehr, wie Abb. 11 deutlich zeigt.

Bewertung: Die Maßnahme führt in einem Abstandsstreifen zwischen 0,5 m und 10 m zur Trassenmitte zu einer teils wirkungsvollen Reduzierung des Magnetfelds. Allerdings verursacht sie direkt über der Trassenachse bis zu einem Abstand von 0,5 m eine Erhöhung des Magnetfelds. In größeren Abstand von ca. 10 m zur Trassenmitte ist die Wirksamkeit nur noch gering. Die Vergrößerung der Legetiefe bei gleichem Kabelabstand führt zudem zur Erhöhung der Temperatur im Kabel aufgrund des höheren Wärmewiderstands. Folge ist, dass der Kabelabstand in diesem Fall ggfls. wieder vergrößert werden muss, was der Feldminimierung durch die Verlegetiefe entgegenläuft.

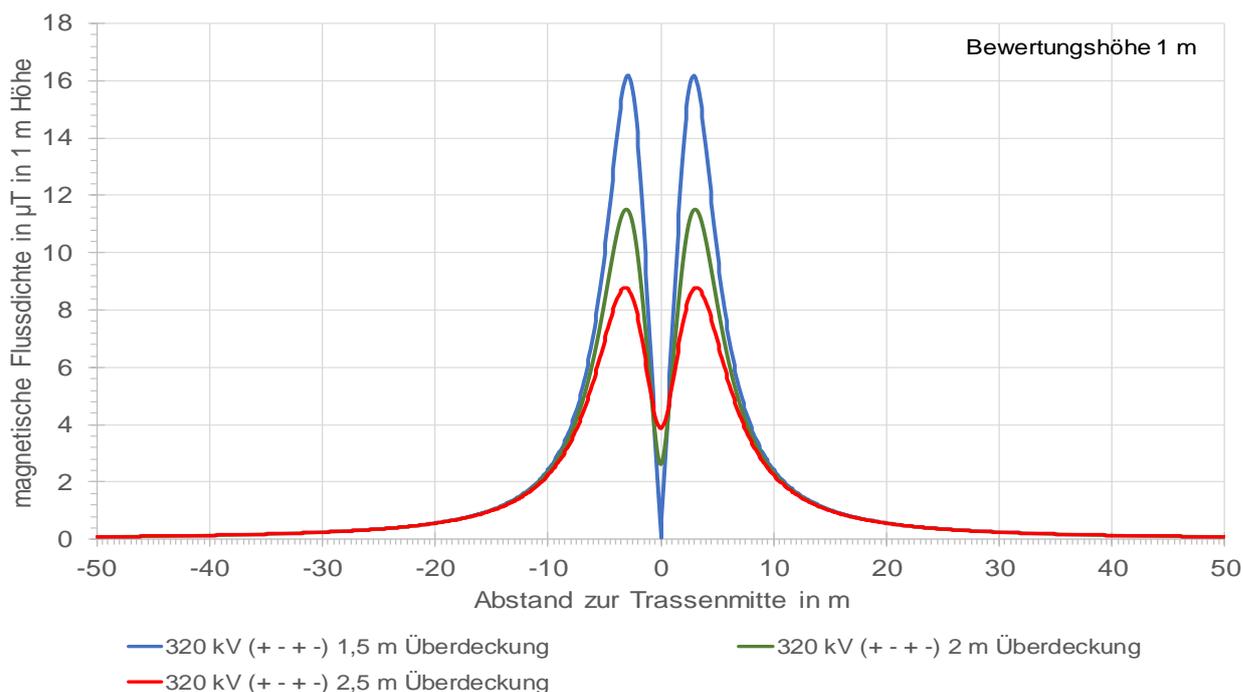


Abb. 10: Verlauf des magnetischen Gleichfelds für verschiedene Überdeckungen bei festem Kabelabstand – lineare y-Achse

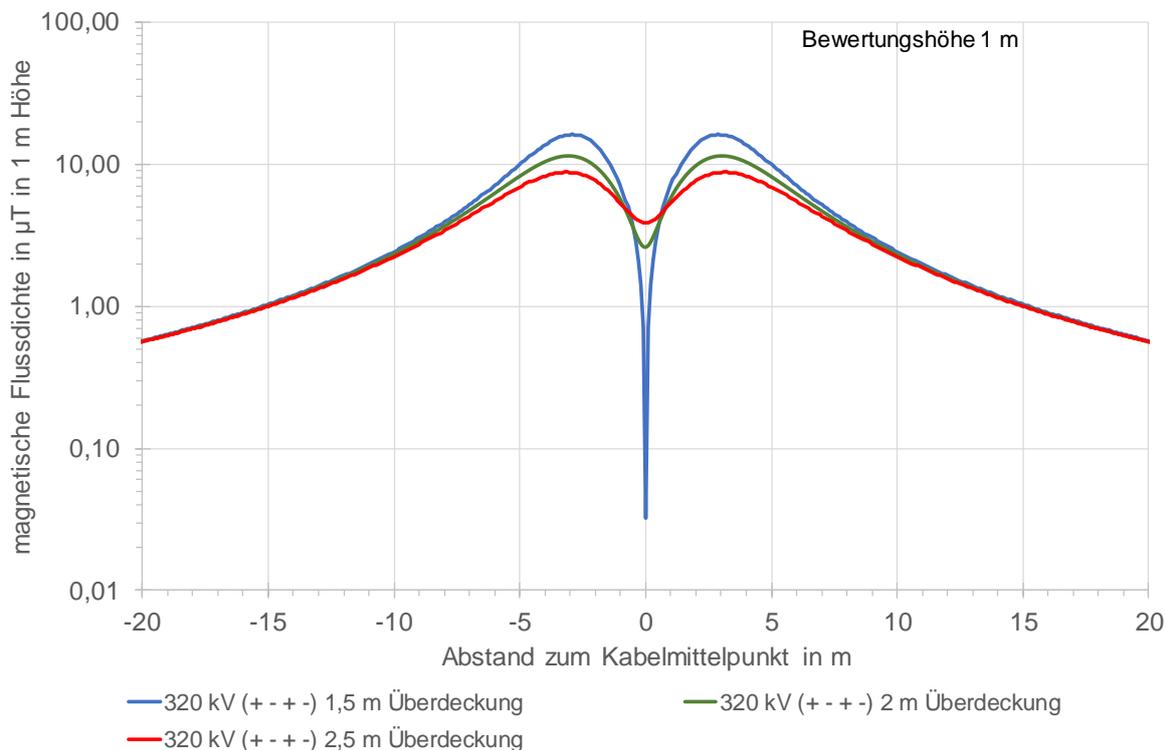


Abb. 11: Verlauf des magnetischen Gleichfelds für verschiedene Überdeckungen – logarithmische y-Achse

7.3 Minimierungsmaßnahmen für die HGÜ-Erdkabeltrasse (525 kV-Variante)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Auswirkung auf die Feldverteilung bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung für das magnetische Feld unter Anwendung verschiedenen Minimierungsmaßnahmen.

Da die 525 kV-Variante nur aus einem System besteht, fällt die Maßnahme „Optimierung der Polanordnung“ von vornherein weg. Hinsichtlich der Maßnahme „Optimierung der Kabelabstände“ wurde bereits im Abschnitt 7.2.1 darauf hingewiesen, dass eine weitere Annäherung der Pole aufgrund der thermischen Belastung der Kabel nicht möglich ist. Daher kann diese Maßnahme auch nicht weiterverfolgt werden. Es bleibt für diese Variante daher nur die Optimierung der Verlegetiefe.

7.3.1 Optimierung der Verlegetiefe

Maßnahme Die Erdkabel werden tief im Boden verlegt.

lt. 26. BImSchVVwV:

Anmerkung: Die Bodenbeschaffenheit und die vor Ort vorhandene Infrastruktur müssen für eine tiefe Verlegung geeignet sein.

Ergebnis: Direkt über den Kabeln reduziert sich die maximale magn. Flussdichte in 1 m Höhe durch die tiefere Verlegung von 23,1 μT bei 1,5 m Überdeckung, über 16,0 μT bei 2 m Überdeckung auf 11,8 μT bei 2,5 m Überdeckung.

Bewertung: Die Maßnahme führt in allen Abständen zu einer Reduzierung der Feldwerte, allerdings ist die Wirksamkeit ab einem Abstand von 10 m von der Trassenmitte mit nur noch ca. 2,5 % Reduzierung je 0,5 m mehr Überdeckung gering. Zudem für auch hier die Vergrößerung der Legetiefe bei gleichem Kabelabstand zu einer Erhöhung der Temperatur im Kabel aufgrund des höheren Wärmewiderstands. Folge ist, dass der Kabelabstand in diesem Fall ggfls. wieder vergrößert werden muss, was der Feldminimierung durch die Verlegetiefe entgegenläuft.

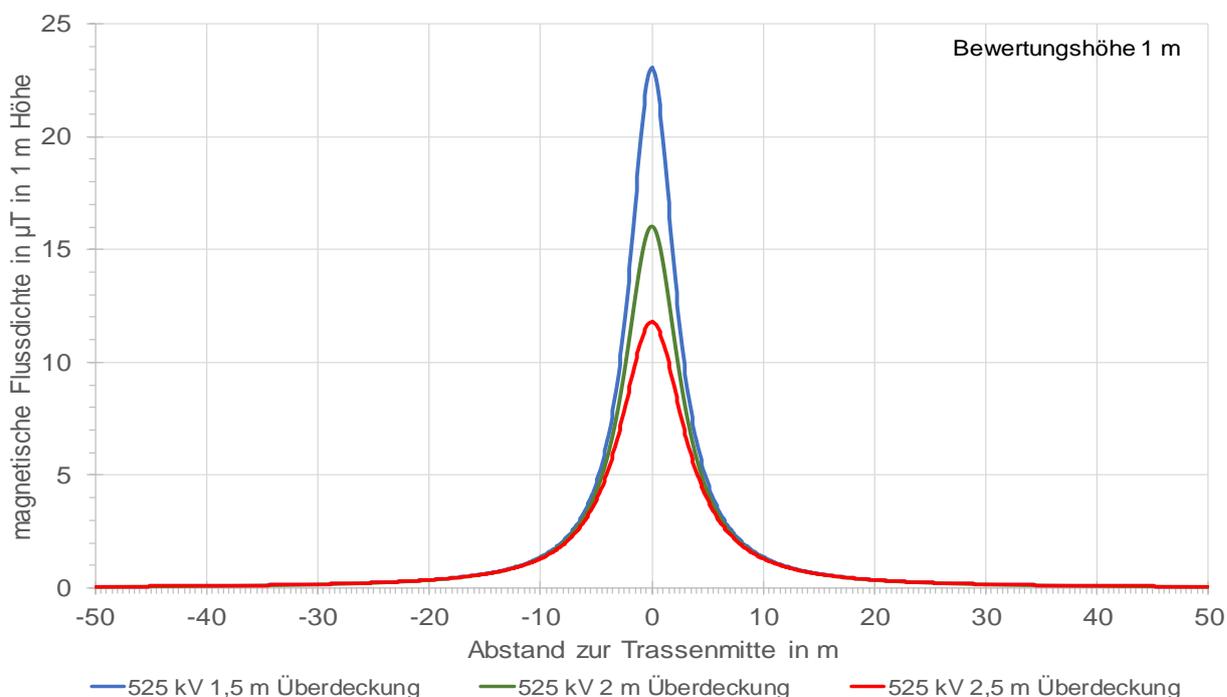


Abb. 12: Verlauf des magnetischen Gleichfelds für verschiedene Überdeckungen
– lineare y-Achse

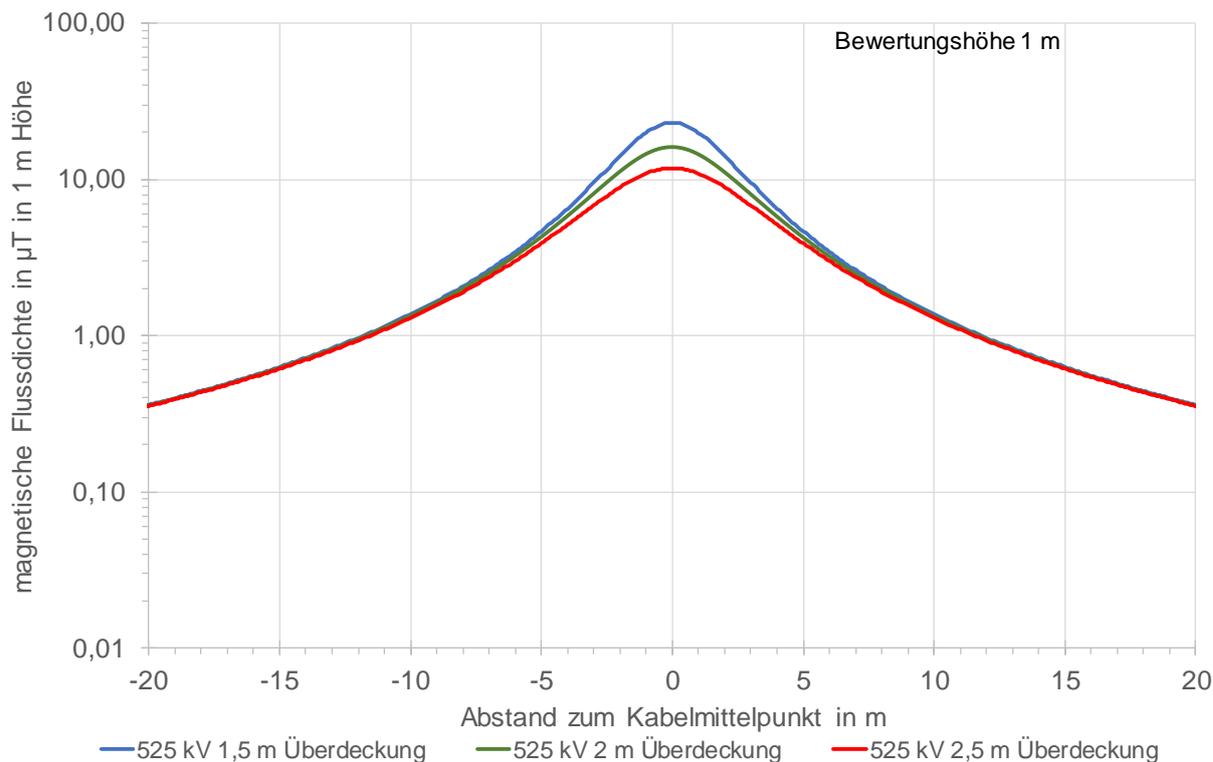


Abb. 13: Verlauf der magnetischen Flussdichte für verschiedene Überdeckungen– logarithmische y-Achse

7.4 Fazit Minimierungsmaßnahmen

Unter den geprüften Maßnahmen führt die Optimierung der Polanordnung für die 2 x 320 kV-Variante ab einem Abstand von 3,6 m zur Trassenmitte zur Minimierung der Magnetfeldemission. In Einzelfällen kann zusätzlich durch eine tiefere Verlegung der Kabel eine zusätzliche Minimierung erreicht werden, deren Wirksamkeit jedoch abhängig vom Abstand zur HGÜ – Erdkabeltrasse ist und durch die ggfs. erforderliche Vergrößerung der Kabelabstände begrenzt bleibt oder sich sogar gegenläufig auswirkt.

7.5 Beispiel für maßgeblichen Minimierungsort

7.5.1 Abschnitt B – Bereich Caaswitz

Die Grenzwerte der 26. BImSchV werden mit der geplanten Konfiguration der Erdkabeltrasse für die Zusatzbelastung des magnetische Gleichfelds durchgängig eingehalten. Daher ist, wenn keine relevanten Vorbelastungen auftreten, nur das Minimierungsgebot zu betrachten.

Die Einwirkungsbereiche betragen laut Tab. 5 17,7 m (320 kV) bzw. 20,2 m (525 kV). Alle Gebäude liegen daher, wie Abb. 14 zu entnehmen, ist außerhalb des Einwirkungsbereichs der HGÜ-Erdkabeltrasse. Jedoch durchquert die Trasse die Grundstücke auf denen sich Gebäude befinden, die der Wohnnutzung unterliegen und damit potentiell maßgebliche Minimierungsorte darstellen. Daher ist zu prüfen, ob diese fraglichen Grundstücke, auch wenn sich die Wohngebäude außerhalb des Einwirkungsbereichs befinden, noch im Einwirkungsbereich der HGÜ-Erdkabeltrasse liegen und damit maßgebliche Minimierungsorte (MMO) darstellen. Laut Abs. 4 der 26. BImSchVVwV ist die Prüfung im Freien in der Mitte des potentiell maßgeblichen Minimierungsorts durchzuführen. Für das nördlich gelegene Grundstück (MMO 1) liegt die Grundstücksmitte (Kreuzung der Diagonalen) 9,1 m von der Trassenmitte entfernt. Damit liegt es innerhalb des Einwirkungsbereichs und stellt damit einen maßgeblichen Minimierungsort dar.

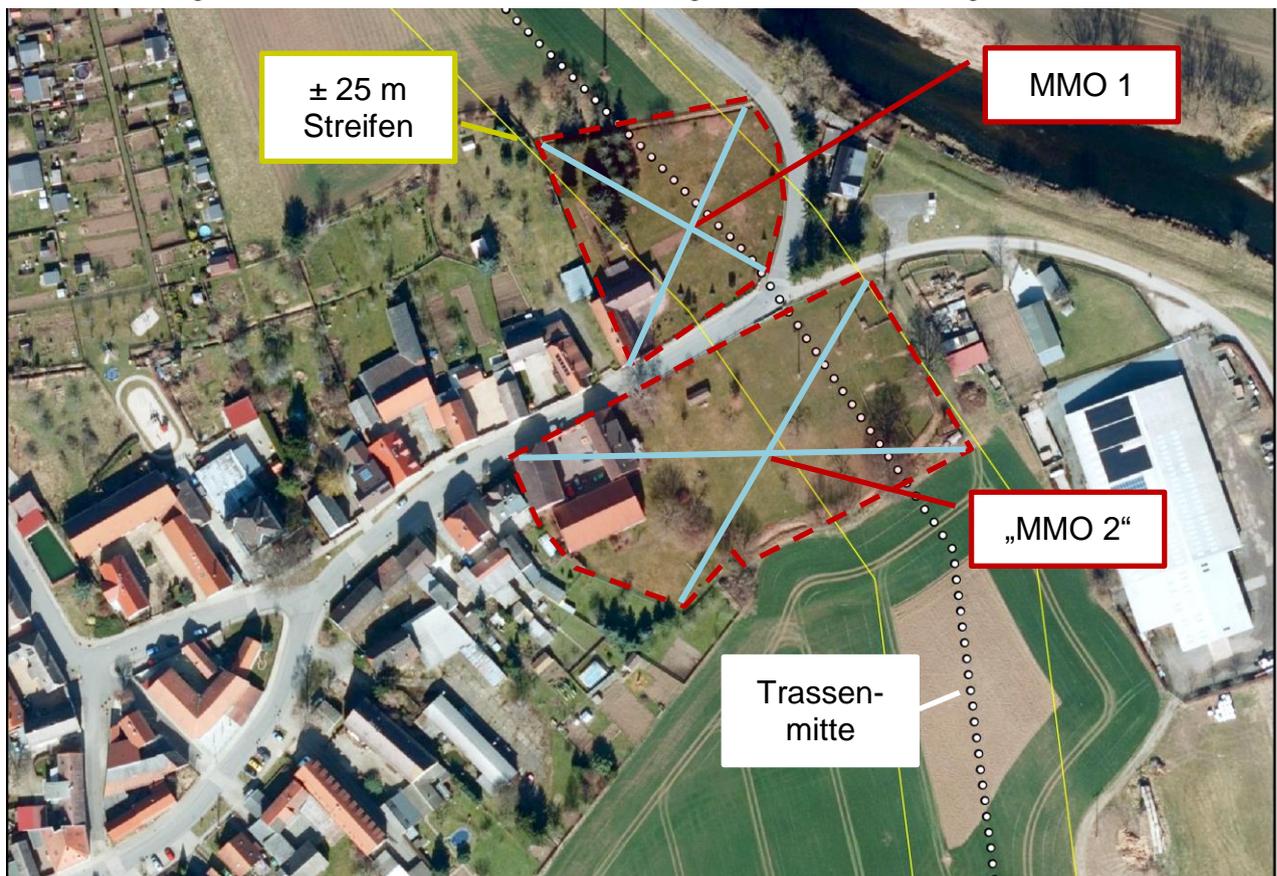


Abb. 14: Beispiel für eine mögliche Engstelle einer Trassenvariante im Bereich Caaschwitz

Für das südlich gelegene Grundstück (MMO 2) liegt die Grundstücksmitte mit ca. 27 m Abstand zur Trassenmitte außerhalb des Einwirkungsbereichs. MMO 2 stellt damit keinen maßgeblichen

Minimierungsort dar und muss daher nicht berücksichtigt werden. Die Minimierungsprüfung für MMO 1 kommt zu folgenden Ergebnis:

Minimierungsmaßnahme	Bewertung
Optimierung der Polanordnung	Da MMO 1 weiter wie 3,6 m von der Trassenachse entfernt liegt, wäre die Maßnahme für beide Ausbauvarianten wirksam.
Optimierung der Verlegetiefe	Eine tiefere Verlegung der Kabel würde in dem Abstand, in dem sich MMO 1 befindet, ebenso eine Minimierung bewirken.

Tab. 6: Ergebnis der Minimierungsprüfung für MMO 1

Beide Maßnahmen können damit auf MMO 1 angewandt werden, soweit sie nicht an einem anderen MMO zu einer Erhöhung des magnetischen Gleichfelds führen.

8 Zusammenfassung und Bewertung

In diesem Gutachten wurden die zu erwartenden zusätzlichen Immissionen durch magnetischen Gleichfelder für die Immissionsschutzrechtlichen Ersteinschätzung (ISE) im Rahmen der strategischen Umweltprüfung (SUP) für die HGÜ-Erdkabeltrasse SüdOstLink (Vorhaben 5 von Wolmirstedt – Isar, Gleichstrom) ermittelt. Bei HGÜ handelt es sich um eine Technologie zur verlustarmen Übertragung von elektrischer Energie mit Gleichstrom.

Die Untersuchung der Auswirkung der von der geplanten HGÜ – Erdkabeltrasse verursachten magnetischen Felder erbrachte folgende Ergebnisse:

- Für den Vergleich der Immissionswerte mit den Grenzwerten der 26. BImSchV ist der ungünstigste Fall - die **höchste betriebliche Anlagenauslastung** - zu betrachten. Dabei ergab sich, dass für die Zusatzbelastung der statischen magnetischen Flussdichte der Grenzwert der 26. BImSchV überall auf der Trasse für beide HGÜ-Erdkabel-Varianten (2 x 320 kV oder 1 x 525 kV) nur im geringen Maße ausgeschöpft wird. Im ungünstigsten Fall werden in Erdbodenhöhe maximal 9,1 % (320 kV) bzw. 11,2 % (525 kV) vom Grenzwert der 26. BImSchV erreicht.
- Das **magnetische Gleichfeld** erreicht für die Planungsvariante (2 x 320 kV) maximal 45,3 μT , für die 525 kV – Alternative 55,9 μT . Es liegt damit in Größenordnung des Erdmagnetfelds, dass entlang der geplanten HGÜ-Trasse zwischen 47,5 μT und 48,6 μT variiert. Weltweit werden Werte von 30 μT am Äquator bis 60 μT an den Polen gemessen.

Am Rand des 25 m Streifens von der Trassenmitte beträgt das zusätzlich zu erwartende magnetische Gleichfeld nur noch weniger als 0,4 μT .

- Da die Grenzwerte der 26. BImSchV selbst im ungünstigsten Fall bereits direkt über der Erdkabeltrasse eingehalten werden, gilt dies erst recht für weiter entfernt liegende Immissionsorte und damit für den gesamten Trassenkorridor (Erst-Recht-Schluss).



- Das Minimierungsgebot nach §4 Abs (2) 26. BImSchV ist für das Vorhaben SüdOstLink erfüllbar, wie in Abschnitt 7 gezeigt werden konnte.
- Da die Grenzwerte der 26. BImSchV nur zu geringen Maße ausgeschöpft werden, ist damit auch eine Gefährdung von Trägern aktiver und passiver Implantate im HGÜ-Trassenbereich sicher ausgeschlossen.

9 Identifizierung möglicher Konfliktbereiche

Im Trassenverlauf ist die Vorbelastung von anderen Gleichstromanlagen im Einwirkungsbereich der HGÜ-Erdkabeltrasse zu beachten. Relevant können hier folgende Anlagen sein:

- Mit Gleichstrom betriebene Straßenbahnen, U- bzw. S-Bahnen, die die Trasse kreuzen oder parallel laufen.
- Ladestationen für Elektrofahrzeuge
- Magnetisierte Bauwerke aus / mit Stahlkomponenten wie Brücken
- Gewerbe- und Industriebetriebe, die mit starken Gleichströmen arbeiten (Schweißanlagen, Elektrolyseanlagen, Sinteranlagen, Galvanikanlagen)



10 Anhang

10.1 Berechnung der Unsicherheit nach DIN EN 50413

Programm: EFC-400 LF Version 2015 Parameter: magnetische Flussdichte						
Komponente	Einflussfaktor	Quelle	festgelegte Unsicherheit	Verteilung	Divisionsfaktor	Standardunsicherheit
Software	Rundung, Softwarefehler, Segmentierung etc.	Herstellertifikat	0,00001%	Normal	2	0,00001%
Geodaten	Abweichung tatsächlicher Lage der Kabel von Plan	Schätzung	5,0%	Normal	2	2,5%
elektrische Betriebsdaten	Kurzzeitige Stromschwankungen	Schätzung	2,0%	Normal	2	1,0%
Kabelgraben	ferromagnetische Materialien im Kabelgraben	Schätzung	0,5%	Normal	2	0,25%
Kombinierte Standardunsicherheit:						2,7%
Erweiterungsfaktor:						2
erweiterte Standardunsicherheit:						5,4%

Tab. 7: erweiterte Standardunsicherheit des Berechnungsverfahrens



10.2 Literatur

- [6] Elektromagnetische Felder im Alltag - Aktuelle Informationen über Quellen, Einsatz und Wirkungen; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe und Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Bezug über www.lfu.bayern.de/strahlung/index.htm
- [7] Rehm W., Edelman K., Gritsch Th., Darstellung der technischen Möglichkeiten zur Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik, FE-Vorhaben des Bundesamts für Strahlenschutz BfS AG-F3-08313/3614S80020, 2014-11-18
- [8] Rehm W., Gritsch Th., Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik; Strahlenschutzpraxis 4/2015 S5ff.
- [9] Forschungsbericht 451: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz; Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Januar 2015
- [10] SSK - Biologische Effekte der Emissionen von Hochspannungs- Gleichstromübertragungsleitungen (HGÜ), Empfehlungen der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung, verabschiedet in der 263. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 12. September 2013

10.3 Glossar

B	Symbol für magnetische Flussdichte.
BImSchV	Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)
E	Symbol für Elektrische Feldstärke.
elektrische Feldstärke	Diese wird durch den elektrischen Spannungsabfall zwischen zwei Punkten erzeugt. (siehe „Volt pro Meter). Sie hängt daher einerseits von der verwendeten Spannung am Leiter ab und der Entfernung hierzu.
EMF	Abk. für <u>E</u> lektrom <u>a</u> gnetische <u>F</u> elder
Frequenz	Schwingungszahl von Wellen je Sekunde, gemessen in Herz
Hertz (Hz)	Technische Einheit für 1 Schwingung pro Sekunde
Magnetfeld, magnetische Flussdichte	Dies ist ein Maß für das von einem Strom oder Permanentmagneten erzeugte Magnetfeld.
Spannung Hochspannung (kV)	Eine elektrische Spannung über 1.000 Volt (1 kV) wird im Allgemeinen als Hochspannung bezeichnet. Beispielsweise arbeitet die Bahn typischerweise mit 15 kV, Hochspannungsfreileitungen werden mit den Spannungsebenen 20 kV, 30 kV, 110 kV, 220 kV oder 20 kV betrieben. Ab 220 kV spricht man von Höchstspannung.
Tesla, Mikrotesla (μT)	Technische Maßeinheit für die magnetische Flussdichte in Tesla oder mehr gebräuchlich Mikrotesla was einem Millionstel Tesla entspricht. In dieser Einheit sind die Grenzwerte der 26. BImSchV im Niederfrequenzbereich angegeben. Früher war hierfür auch die Einheit Gauß gebräuchlich. 1 Gauß entspricht 100 μT .
Volt pro Meter (V/m)	Technische Maßeinheit für die elektrische Feldstärke. Diese ist ein Maß für den Spannungsabfall zwischen zwei Punkten. Die Feldstärke von 1 V/m entspricht daher einer Spannungsverminderung von 1 Volt in 1 m Abstand. In dieser Einheit sind die Grenzwerte der 26. BImSchV angegeben.