



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

## Gutachten elektromagnetische Felder

ausgehend von den Hoch- und Höchstspannungsleitungen im geplanten neuem Stadtteil Frankfurt Nordwest

Auftraggeber des Gutachtens: Stadt Frankfurt  
Stadtverwaltung (Amt 61)  
Stadtplanungsamt  
60275 Frankfurt am Main

Ziel der Untersuchung: Beurteilung der Immissionsweirwirkung der magnetischen und elektrischen Felder ausgehend den Hoch- und Höchstspannungsleitungen im geplanten neuem Stadtteil Frankfurt Nordwest

Bestellnummer: Vertrag vom 13.03.2019

Auftrags-Nr.: 3 052 695

Datum: 12.08.2019

Auftrags-/Bericht-Nr.: F19/104-EMF v2.1

Unsere Zeichen:  
IS-USG-MUC/gri

Sachverständiger: Dr. Thomas Gritsch  
Telefon: 089/5791-1110  
Telefax: 089/5791-1098  
E-Mail: thomas.gritsch@tuev-sued.de

Das Dokument besteht aus  
47 Seiten.  
Seite 1 von 47

Berichtsumfang: 47 Seiten

Die auszugsweise Wiedergabe des Dokumentes und die Verwendung zu Werbezwecken bedürfen der schriftlichen Genehmigung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Abteilung Umwelt Service  
Elektromagnetische Umweltverträglichkeit

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.

Stempel

Dr. Thomas Gritsch  
Öffentlich bestellter und beedidgter 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](http://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](http://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.....	4
2	Prüfgrundlagen.....	4
3	Emissionsquellen niederfrequenter Felder - Allgemeine Informationen .....	5
4	Ausgangssituation .....	6
4.1	Örtliche Verhältnisse .....	6
4.2	Freileitungen / Erdkabeltrasse.....	7
4.2.1	380-kV-Freileitung der TenneT TSO – LH-11-3011 .....	8
4.2.2	110-kV-Freileitung der Avacon – LH-11-1046 / LH-11-1178 .....	9
4.2.3	380-kV- / 110-kV-Freileitung der Syna – LH-3019 .....	10
4.2.4	Geplante 380-kV- / 110-kV-Freileitung der Amprion .....	11
4.2.5	110-kV- Freileitung der DB Energie – BL 555.....	12
4.2.6	110-kV- / 30-kV- / 10-kV-Erdkabel der NRM Netzdienste .....	13
5	Ermittlungsverfahren .....	13
6	Rechtliche und normative Grundlage.....	13
6.1	26. BImSchV .....	13
6.1.1	Überspannungsverbot .....	14
6.1.2	Erhebliche Belästigungen und Schäden .....	14
6.1.3	Anwendungsbereich und maßgebliche Immissionsorte .....	14
6.1.4	Höchste betriebliche Anlagenauslastung.....	15
6.1.5	Berücksichtigung aller relevanten Immissionen .....	15
6.2	Landesentwicklungsplan Hessen .....	16
6.3	Weitere Anforderungen - Richtwerte – Grenzwerte .....	16
7	Berechnung der Immissionswerte.....	18
7.1	Magnetische Flussdichte .....	18
7.1.1	Amprion / Syna - Freileitungstrasse.....	18
7.1.2	TenneT / Avacon / DB - Freileitungstrasse .....	19
7.1.3	NRM - Erdkabeltrasse .....	21
7.1.4	Zusammenfassung Immissionswerte.....	22
7.2	Elektrische Feldstärke .....	23
7.2.1	Amprion / Syna - Freileitungstrasse.....	23
7.2.2	TenneT / Avacon / DB - Freileitungstrasse .....	24
7.2.3	Zusammenfassung Immissionswerte.....	25
7.3	Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 10 MHz.....	26
8	Anwendung des Minimierungsgebots von §4 Abs. (2) der 26. BImSchV .....	26
8.1	Vorprüfung nach 26. BImSchVVwV [5].....	26
8.2	Minimierungsmaßnahmen für die Drehstrom-Freileitungen .....	27
8.3	Phasenoptimierung Magnetische Flussdichte B .....	29
8.4	Phasenoptimierung Elektrische Feldstärke E .....	30
9	Störung von elektrischen Geräten .....	32
10	Zusammenfassung und Bewertung.....	34
11	Vorschläge zur Aufnahme in den Bebauungsplan.....	35

12	Identifizierung möglicher Konfliktbereiche .....	36
13	Anhang .....	37
13.1	Berechnung der Unsicherheit nach DIN EN 50413 .....	37
13.2	Literatur .....	38
13.3	Glossar .....	39
13.4	Berechnungsergebnisse Gesamtgebiet .....	41

**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.**

**Die Namen der auskunftgebenden Mitarbeiter wurden aus Gründen des Datenschutzes anonymisiert**

## 1 Aufgabenstellung

Die Stadtverwaltung Frankfurt am Main beauftragte die TÜV SÜD Industrie Service GmbH die Einwirkung der von Hoch- und Höchstspannungsleitungen ausgehenden elektromagnetischen Felder auf den geplanten neuen Stadtteil Frankfurt Nordwest zu ermitteln zu bewerten.

Die 4 x 110-kV-Leitung der Syna soll umgebaut werden. Geplant ist durch die Fa. Amprion zwei der 110-kV-Systeme gegen 380 kV-Systeme auf der bestehenden Trasse zu ersetzen.

Das Plangebiet wird von folgenden Freileitungen (von Ost nach West) überspannt:

- 2 x 110 kV Avacon, 2 x 380 kV TenneT
- 2 x 110 kV DB Energie
- 4 x 110 kV Syna (alt), 2 x 110 kV Syna / 2 x 380 kV Amprion (geplant).

Neben den reinen Freileitungstrassen sollen auch die Anschlussleitungen an das Umspannwerk (UW) Frankfurt Nordwest bis jeweils zu den Portalen / Anlagenzaun mitberücksichtigt und berechnet werden. Weiterhin läuft eine 10 kV – 110 kV Erdkabeltrasse der NRM vom UW Frankfurt West weg in nordöstliche Richtung.

Mit dem vorliegenden Gutachten soll überprüft werden, ob Einschränkungen für das Plangebiet hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen der 26. BImSchV für niederfrequente elektrische und magnetische Felder bestehen.

## 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] Technische Daten der Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen und Erdkabel der Firmen Amprion, Avacon, DB Energie, Syna, TenneT und NRM
- [5] 26. BImSchVVwV, Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV vom 26. Februar 2016 (BAnz AT 03.03.2016 B5)
- [6] Dritte Verordnung zur Änderung der Verordnung über den Landesentwicklungsplan vom 21.06.2018; veröffentlicht in GVBl. 19 vom 10.09.2019, S. 398ff

### 3 Emissionsquellen niederfrequenter Felder - Allgemeine Informationen

Im niederfrequenten Bereich ( $16 \frac{2}{3}$  Hz - Bahnstrom, 50 Hz Netzversorgung) sind elektrisches und magnetisches Feld getrennt zu betrachten. Das elektrische Feld, gemessen mittels der elektrischen Feldstärke in V/m (Volt pro Meter), wird dabei durch die an der Quelle anliegenden Spannung erzeugt, d.h. so genannte Hochspannungsleitungen mit Spannungen bis 400.000 Volt (400 kV) erzeugen ein stärkeres elektrisches Feld als unsere Hausinstallationen, die mit 240 Volt betrieben werden. Die Spannung und damit die elektr. Feldstärke ist unabhängig von der Auslastung der Quelle.

Dagegen entsteht das magnetische Feld, gemessen mittels der magnetischen Flussdichte B in  $\mu\text{T}$  (Mikrotesla) oder nT (Nanotesla,  $1 \mu\text{T} = 1000 \text{nT}$ ), durch die in der Quelle fließenden Ströme und ist damit direkt abhängig von der Anzahl und Stärke der Verbraucher, die z.B. mit einer Stromleitung versorgt werden.

Während sich das elektrische Feld sehr einfach durch alle leitfähigen Materialien, Gitter und auch Hauswände abschirmen lässt, durchsetzt das magnetische Feld nahezu ungehindert Hauswände und -decken. Durch die Wände der zu errichtenden Gebäude wird das elektrische Feld der Freileitung daher in den Innenräumen nahezu vollständig abgeschirmt. Das niederfrequente magnetische Feld wird jedoch durch normale Fassaden nahezu nicht geschwächt. Im Gebäude sind daher annähernd die gleichen Magnetfeldwerte, wie im Außenbereich zu erwarten.

Jedoch nehmen sowohl das elektrische wie auch das magnetische Feld rasch mit dem Abstand von der Quelle ab. Höhere Belastungswerte sind daher nur im unmittelbaren Nahbereich von der Quelle anzutreffen.

Die folgenden Abbildungen zeigen den Feldverlauf mit dem Abstand von typischen Feldquellen.

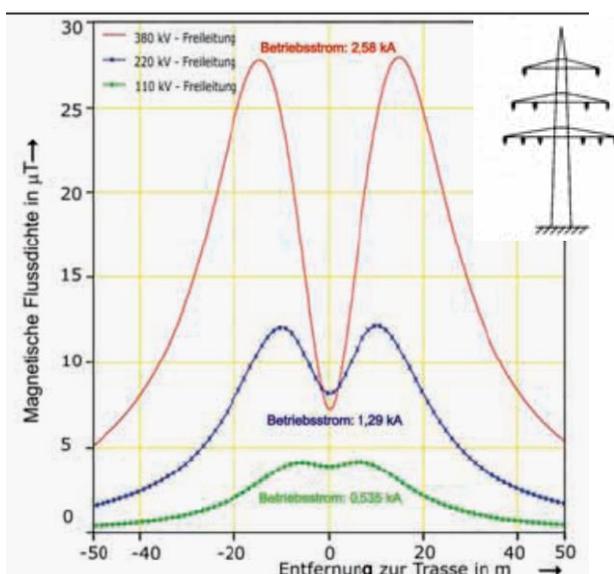


Abb. 1: Feldverlauf des Magnetfeldes an einer Hochspannungsleitung

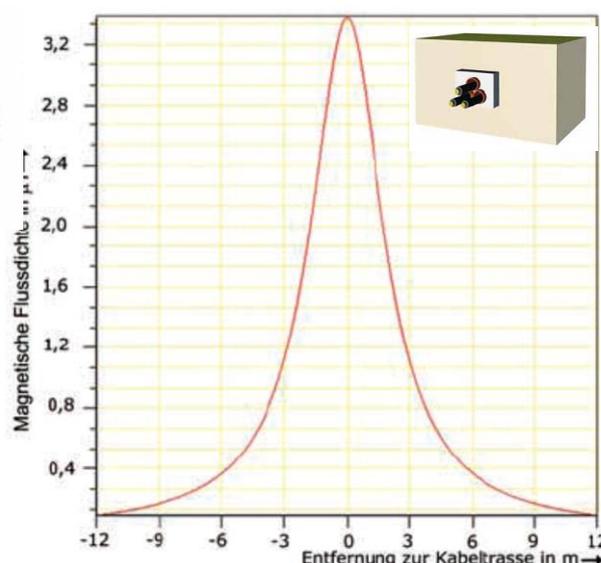


Abb. 2: Feldverlauf eines 110kV-Erdkabels in 1 m Höhe

## 4 Ausgangssituation

### 4.1 Örtliche Verhältnisse

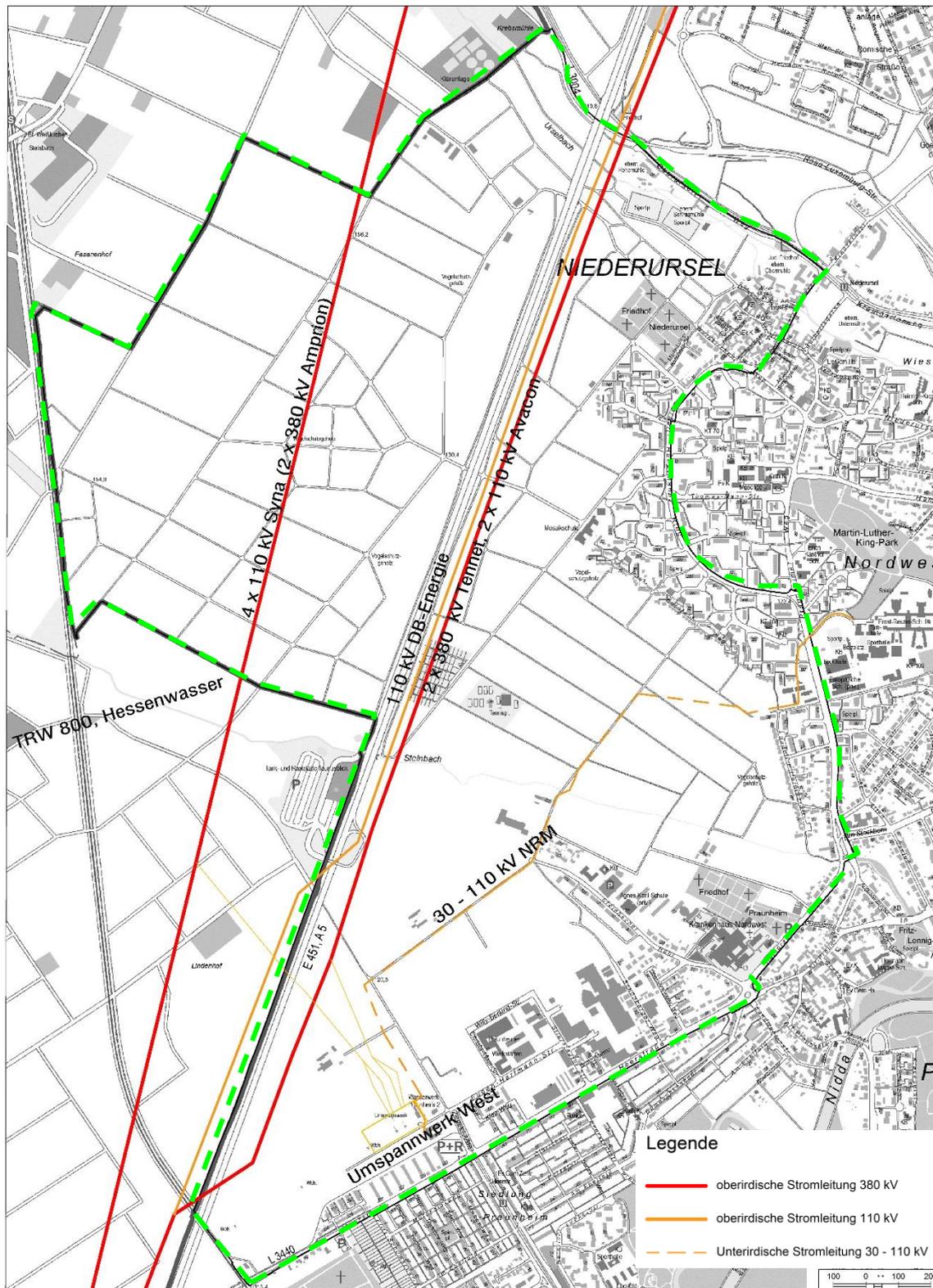


Abb. 3: Plangebiet des Stadtteils Frankfurt Nordwest (grün gestrichelt umrandet) mit Hoch- und Höchstspannungsleitungen, Umspannwerk West und Erdkabeltrasse

Für das Bebauungsgebiet existieren noch keine klaren Vorgaben, jedoch ist voraussichtlich von einer fünfgeschossigen Bebauung auszugehen. Es wurde daher von einer ungefähren Gebäudehöhe von 15 m ausgegangen.

## 4.2 Freileitungen / Erdkabeltrasse

In den folgenden Abbildungen sind Bilder der Freileitungstrassen dargestellt. Die wesentlichen technischen Daten finden sich in den folgenden Tabellen.



Abb. 4: Portalmasten am Umspannwerk West (Blick nach Nordwesten)



Abb. 5: DB Energie Trasse (links) und Avacon / TenneT-Trasse (rechts), Blick nach Norden.



Abb. 6: 110-kV-Freileitung der Syna, die von Amprion mit zwei 380-kV-Systemen aufgerüstet werden soll

#### 4.2.1 380-kV-Freileitung der TenneT TSO – LH-11-3011

Von der TenneT TSO GmbH, vertreten durch Hr. W , wurden uns die technischen Parameter der 380-kV-Freileitungstrasse zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren. Auf der Trasse werden teilweise zwei 110-kV-Stromsysteme der Fa. Avacon in der unteren Ebene mitgeführt.

Bezeichnung	380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-11-3011 Karben-Frankfurt/SW
Betreiber:	TenneT TSO GmbH
Nennspannung:	380 kV
max. Spannung:	420 kV
Frequenz:	50 Hz
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	2.620 A
Anzahl Stromsysteme:	2
Beseilung - Phasenleiter:	2 x 3 x Al/St 240/40, jeweils 4er Bündel mit Teilleiterabstand 0,4 m
Beseilung - Erdleiter:	1 x Al/St 240/40 teilweise 1 - 2 x AL/SM 210/50/R
Phasenbelegung:	L2    L1 L1 L3    L2 L3
Masttyp:	Donaumast mit 2 bis 3 Ebenen
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 47 bis 58
Masthöhen	46 m – 74 m über EOK

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-11-3011 Karben-Frankfurt/SW</b>
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	23 m – 31 m über EOK

Tab. 1: Technische Daten der 380-kV-Freileitung der TenneT

#### 4.2.2 110-kV-Freileitung der Avacon – LH-11-1046 / LH-11-1178

Von der Avacon, vertreten durch Hr. S , wurden uns die technischen Parameter der 110-kV-Freileitungstrassen zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren. Auf der Trasse der Freileitung LH-11-1046 werden teilweise zwei 380-kV-Stromsysteme der Fa. TenneT in den oberen beiden Ebenen mitgeführt. Zusätzlich quert das Plangebiet noch die Stichleitung LH-11-1178 der Fa. Avacon.

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-11-1046 Frankfurt/Nord- Frankfurt/West</b>	
Betreiber:	Avacon Netz GmbH	
Nennspannung:	110 kV	
max. Spannung:	123 kV	
Frequenz:	50 Hz	
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	916 A	Stromkreis „9“ (westlich)
	1.310 A	Stromkreis „5“ (östlich)
Anzahl Stromsysteme:	2	
Beseilung - Phasenleiter:	2 x 3 x Al/St 240/40, jeweils 2er Bündel mit Teilleiterabstand 0,4 m	
Beseilung - Erdleiter:	1x Al/St 240/40 teilweise 1-2 x AL/SM 210/50/R	
Phasenbelegung:	L3 L2 L1    L3 L2 L1	
Masttyp:	Donaumast mit 2 bis 3 Ebenen	
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 47 bis 55, 66N, 67N	
Masthöhen	46 m – 74 m über EOK	
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	12 m – 27 m über EOK	

Tab. 2: Technische Daten der 110-kV-Freileitung der Avacon LH-11-1046

<b>Bezeichnung</b>	<b>110-kV-Freileitung LH-11-1178 Abzweig Frankfurt/West</b>
Betreiber:	Avacon Netz GmbH
Nennspannung:	110 kV
max. Spannung:	123 kV
Frequenz:	50 Hz
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	688 A          Stromkreis „1“
Anzahl Stromsysteme:	1
Beseilung - Phasenleiter:	1 x 3 x Al/St 265/35
Beseilung - Erdleiter:	1 x Al/St 98/55, teilweise 1 x Al/St 264/33
Phasenbelegung:	ES    L1 L2 L3
Masttyp:	Einebenenmast
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 0 – 4, davon Masten Nr. 0 und 1 Eigentum der Syna
Masthöhen	12 m (UW-Portal) – 64 m über EOK
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	7,5 m (UW-Portal) – 21 m über EOK

Tab. 3: Technische Daten der 110-kV-Freileitung der Avacon LH-11-1178

#### 4.2.3 380-kV- / 110-kV-Freileitung der Syna – LH-3019

Von der Syna, vertreten durch Hr. A , wurden uns die technischen Parameter der 110-kV-Freileitungstrasse zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren. Auf der Trasse der Freileitung LH-3019 ist geplant teilweise zwei 380-kV-Stromsysteme der Fa. Amprion in den oberen beiden Ebenen mitzuführen. Für die Modellierung wurde angenommen, dass diese Trassenerweiterung bereits realisiert wurde.

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-3019 Höchst / Oberursel - Bommersheim</b>
Betreiber:	Syna GmbH
Nennspannung:	110 kV
max. Spannung:	123 kV
Frequenz:	50 Hz
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	680 A
Anzahl Stromsysteme:	2
Beseilung - Phasenleiter:	2 x 3 x Al/St 265/35

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-3019 Höchst / Oberursel - Bommersheim</b>
Beseilung - Erdleiter:	1 x Al/St 264/33
Phasenbelegung:	L3 L2 L1    L1 L2 L3
Masttyp:	Donaumast mit 3 Ebenen
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 34 bis 40, 34A, 34B, 34C
Masthöhen	59 m – 71 m über EOK
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	8 m – 23 m über EOK

Tab. 4: Technische Daten der 110-kV-Freileitung der Syna LH-3019

#### 4.2.4 Geplante 380-kV- / 110-kV-Freileitung der Amprion

Von der Amprion, vertreten durch Hr. E , wurden uns die voraussichtlichen technischen Parameter der 380-kV-Freileitungstrasse zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren. Auf der Trasse der Freileitung LH-3019 der Syna ist geplant teilweise zwei 380-kV-Stromsysteme der Fa. Amprion in den oberen beiden Ebenen mitzuführen. Für die Modellierung wurde angenommen, dass diese Trassenerweiterung bereits realisiert wurde.

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-3019 Höchst / Oberursel - Bommersheim</b>
Betreiber:	Amprion GmbH
Nennspannung:	380 kV
max. Spannung:	420 kV
Frequenz:	50 Hz
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	5024
maximaler Betriebsstrom laut Planungsgrundsätzen der Amprion:	3600 A (in Ausnahmefällen bis 4000 A)
Anzahl Stromsysteme:	2
Beseilung - Phasenleiter:	2 x 3 x Al/St 264/34 (ZTAL/HACIN) jeweils 4er Bündel mit Teilleiterabstand 0,4 m
Beseilung - Erdleiter:	1 x Al/St 264/33
Phasenbelegung:	L2    L2 L1 L3    L3 L1
Masttyp:	Donaumast mit 3 Ebenen
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 34 bis 40, 34A, 34B, 34C

<b>Bezeichnung</b>	<b>380-kV- / 110-kV-Freileitung LH-3019 Höchst / Oberursel - Bommersheim</b>
Masthöhen	59 m – 71 m über EOK
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	16 m – 30 m über EOK

Tab. 5: Technische Daten der geplanten 380-kV-Freileitung der Amprion LH-3019

Der thermische zulässige Dauerstrom von 5.024 A wird gemäß Planungsgrundsätzen der Fa. Amprion nie erreicht. Die Leitung wird so konzipiert, dass dort ein maximaler Betriebsstrom von 3.600 A und nur in Ausnahmefälle bis 4.000 A auftreten können. Für die Immissionsberechnung wurde daher ein realistischer, aber dennoch konservativer Strom je Phasenleiter von 4.000 A angesetzt.

#### 4.2.5 110-kV- Freileitung der DB Energie – BL 555

Von der DB Energie GmbH, vertreten durch Hr. Z , wurden uns die technischen Parameter der 110-kV-Freileitungstrasse zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren.

<b>Bezeichnung</b>	<b>110-kV-Freileitung BL 555 Abzweig Rödelheim - Friedberg</b>
Betreiber:	DB Energie GmbH
Nennspannung:	110 kV
max. Spannung:	110 kV
Frequenz:	16,7 Hz
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	740 A
Anzahl Stromsysteme:	2
Beseilung - Phasenleiter:	2 x 2 x Al/St 300/50
Beseilung - Erdleiter:	1 x Al/St 44/32
Phasenbelegung:	T    R R    T
Masttyp:	Tonnenmast
Mastnummern im Plangebiet:	Nr. 1441 - 1455
Masthöhen	36 m – 45 m über EOK
Höhe der Leiterseile der untersten Ebene in Mastfeldmitte im ungünstigsten Fall	14 m – 26 m über EOK

Tab. 6: Technische Daten der 110-kV-Freileitung der DB Energie BL 555

#### 4.2.6 110-kV- / 30-kV- / 10-kV-Erdkabel der NRM Netzdienste

Von der NRM Netzdienste Rhein-Main GmbH, vertreten durch Hr. R , wurden uns die technischen Parameter der 110-kV- / 30-kV- / 10-kV-Erdkabeltrasse zur Verfügung gestellt, die Grundlage für die Begutachtung waren.

Bezeichnung	110-kV- / 30-kV- / 10-kV-Erdkabeltrasse		
Betreiber:	NRM Netzdienste Rhein-Main GmbH		
Frequenz:	50 Hz		
	Kabel 1	Kabel 2	Kabel 3
Nennspannung:	110 kV	30 kV	10 kV
max. Spannung:	123 kV	32,5 kV	11,2 kV
th. zulässiger Dauerstrom je Phasenleiter:	605 A	605 A	310 A
Kabelquerschnitt-Phasenleiter	3 x 800 mm <sup>2</sup>	3 x 800 mm <sup>2</sup>	3 x 120 mm <sup>2</sup>
Verlegetiefe:	-1,3 m	-1,3 m	- 0,9 m
Abstand zur Trassenmitte:	-0,3 m	+ 0,3 m	+ 0,7 m

Tab. 7: Technische Daten der 110-kV- / 30-kV- / 10-kV-Erdkabeltrasse der NRM

## 5 Ermittlungsverfahren

Die Berechnung wurde mit dem Programm Winfield (Version 2019) 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 und 0,0001 % für die elektrische Feldstärke an. Die erweiterte Standardunsicherheit der gesamten Berechnung gemäß DIN EN 50413, wie im Anhang dargestellt, ist dann mit 5,5 % für die magnetische Flussdichte und 7,2 % für die elektrische Feldstärke anzugeben.

## 6 Rechtliche und normative Grundlage

### 6.1 26. BImSchV

Aufgrund § 3, Abs. (2) 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 Niederfrequenzanlagen, die nach dem 22. August 2013 errichtet worden sind, so zu errichten und zu betreiben, dass sie bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, die in Tab. 8 genannten Grenzwerte nicht überschreiten.

Frequenz	Elektrische Feldstärke E	Magnetische Flussdichte B
16,7 Hz	5 kV/m	300 µT

50 Hz	5 kV/m	100 $\mu\text{T}^1$
-------	--------	---------------------

Tab. 8: Grenzwerte für 50 Hz-Anlagen nach Anhang 1a der 26. BImSchV [1]

Der Einwirkungsbereich einer Niederfrequenzanlage beschreibt den Bereich, in dem die Anlage einen signifikanten von der Hintergrundbelastung abhebenden Immissionsbeitrag verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen.

### 6.1.1 Überspannungsverbot

Zum Zweck der Vorsorge gemäß §4 Abs. 3 der 26. BImSchV [1] dürfen Niederfrequenzanlagen zur Fortleitung von Elektrizität mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Nennspannung von 220 kV und mehr, die in einer neuen Trasse errichtet werden, Gebäude und Gebäudeteile nicht überspannen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Dieser Begriff ist enger umrissen, als derjenige des „nicht nur vorübergehenden Aufenthalts“. Gemäß LAI 2014 [2] sind darunter insbesondere Wohngebäude sowie Gebäude ähnlicher Nutzung (Krankenhäuser, Pflegeheime, Kurhäuser etc.) sowie besonders schutzbedürftige Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten usw. zu verstehen. Das Überspannungsverbot bezieht sich aber immer auf eine spezifische Immissionssituation.

### 6.1.2 Erhebliche Belästigungen und Schäden

Nach §3 Abs. 4 der 26. BImSchV [1] sind Wirkungen wie Funkenentladungen zwischen Personen und leitfähigen Objekten auch bei Niederfrequenzanlagen zu vermeiden, wenn sie zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können. Als Anhaltspunkte für das erstmalige Auftreten von Belästigungen oder Schäden nennen die Hinweise des LAI 2014 in Abs. II.3.6 [2] dafür einen minimalen Schwellwert für die elektrische Feldstärke von 7 kV/m zur Vermeidung von Funkenentladungen zwischen Finger und kleinen Gegenständen durch Aufladen der Person.

Erhebliche Belästigungen können insbesondere durch Berührungsspannungen (Kontaktströme, Entladung beim Berühren aufgeladener, nicht geerdeter Gegenstände) und Funkenentladungen verursacht werden.

Es genügt bereits das Bestehen hinreichender Anhaltspunkte für das Auftreten erheblicher Belästigungen, d. h. ein Nachweis ist nicht erforderlich. Vielmehr reicht es aus, dass das Auftreten von erheblichen Belästigungen aufgrund bestehender Umstände im Einzelfall, z. B. der Höhe der elektrischen Feldstärke bei Vorhandensein metallener, nicht geerdeter Gegenstände, plausibel erscheint. Erhebliche Belästigungen und Schaden sind zu vermeiden, das ist in der Regel durch einfache Maßnahmen möglich, z. B. durch das Erden metallener Gegenstände.

### 6.1.3 Anwendungsbereich und maßgebliche Immissionsorte

Maßgebliche Immissionsorte von Niederfrequenzanlagen sind Orte, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind und sich im Einwirkungsbereich einer ortsfesten elektrotechnischen Anlage befinden, die mit Wechselstrom mit einer Nennspannung von mehr als 1.000 Volt betrieben wird.

<sup>1</sup> Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hz dürfen dabei die Hälfte des Anhang 1a genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten.

Dem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen dienen Gebäude und Grundstücke, in oder auf denen nach der bestimmungsgemäßen Nutzung Personen regelmäßig länger – mehrere Stunden – verweilen können. Als Anhaltspunkt ist dabei die üblicherweise anzunehmende durchschnittliche Aufenthaltsdauer einer einzelnen Person heranzuziehen. Das schutzwürdige Gebäude oder Grundstück muss nicht notwendigerweise einem dauernden Aufenthalt, z. B. dem Wohnen, dienen [2]. Gemäß LAI 2014, Ziffer II.3.2. [2] sind Grundstücke im Bereich eines Bebauungsplans sowie Verkaufsräume als maßgebliche Immissionsorte zu klassieren.

Gemäß Abs. II.3.1 der Hinweise des LAI zur Durchführung der 26. BImSchV [2] ist dazu ein Streifen von 20 m Breite angrenzend an den ruhenden äußersten Leiter der 380-kV-Systeme bei Freileitungen zu betrachten und 10 m bei 110-kV-Freileitungen. Für Erdkabel ist ein Bereich von 1 m Radius um das Kabel zu betrachten. Damit ist dies nur für das 10 kV-Erdkabel der NRM-Erdkabeltrasse relevant, das mit einer Tiefe von 0,9 m verlegt ist.

Nennspannung	Abstand vom äußersten Leiter	Abstand von der Trassenmitte
110 kV – Freileitung	10 m	13,7 m – 26,5 m
380 kV - Freileitung	20 m	34,25 m
	Radius um Kabel	Abstand von der Trassenmitte
30 kV - Erdkabel	1 m	0,43 m

Tab. 9: Bewertungsstreifen für maßgebliche Immissionsorte nach LAI

#### 6.1.4 Höchste betriebliche Anlagenauslastung

Für die Immissionsauswirkung der Anlage ist die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln. Diese ist laut 26. BImSchV nicht durch die tatsächlich zu erwartende maximale Auslastung der Anlage, sondern durch eine technische Grenze charakterisiert, bei Umspannanlagen beispielsweise durch die Nennleistung von Transformatoren, bei Freileitungen durch den thermischen maximal zulässigen Dauerstrom, der durch den Leiterquerschnitt der verwendeten Leiterseile definiert ist.

Die übliche Durchschnittsauslastung der Freileitungen liegt zwischen 20 % und 40 % des thermisch maximal zulässigen Dauerstroms. Allerdings kann durch den Einsatz von aktiver Überwachungsmaßnahmen der Freileitung (Freileitungsmonitoring) der maximale zulässige Dauerstrom auch gegenüber den genormten Werten nach oben verschoben werden.

#### 6.1.5 Berücksichtigung aller relevanten Immissionen

Laut § 3 Abs. (3) der 26. BImSchV sind bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz, die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das

Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, gemäß Anhang 2a entstehen.

## 6.2 Landesentwicklungsplan Hessen

Im Rahmen der Untersuchung hat auch der Landesentwicklungsplan Hessen Bedeutung, der zuletzt 2018 durch die Dritte Verordnung zur Änderung der Verordnung über den Landesentwicklungsplan [6] geändert wurde.

Im Abschnitt 5.3.4-7(Z) ist hierin festgelegt:

*Bei der Festsetzung von neuen Baugebieten in Bauleitplänen oder sonstigen Satzungen nach dem Baugesetzbuch, die dem Wohnen dienen oder in denen Gebäude vergleichbarer Sensibilität, insbesondere Schulen, Kindertagesstätten, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen zulässig sind, ist ein Abstand von mindestens 400 m zu einer planungsrechtlich gesicherten Trasse einer Höchstspannungsleitung einzuhalten.*

Relevant für die Errichtung der geplanten Amprion Freileitung sind weiterhin folgende Abschnitte:

- 5.3.4-2 (G) Die Transportleitungen sollen möglichst gebündelt in Trassenkorridoren und zu bereits vorhandenen Linieninfrastrukturen im Raum geführt werden. Auf eine flächensparende Ausführung ist hinzuwirken.
- 5.3.4-3 (Z) *Der Um- bzw. Ausbau des bestehenden Netzes und die Nutzung vorhandener Trassen haben Vorrang vor dem Neubau von Leitungen auf neuen Trassen.*
- 5.3.4-5 (Z) *Höchstspannungsfreileitungen zur Übertragung von Dreh- oder Gleichstrom (Stromübertragungsleitung) mit einer Nennspannung von 220 kV und mehr sind so zu planen, dass ein Abstand:*
  - *von 400 m zu Wohngebäuden und Gebäuden vergleichbarer Sensibilität, insbesondere Schulen, Kindertagesstätten, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, eingehalten wird, die im Geltungsbereich eines Bebauungsplans oder im unbeplanten Innenbereich im Sinne des § 34 Baugesetzbuch liegen und wenn diese Gebiete vorwiegend dem Wohnen dienen und*
  - *von 200 m zu Wohngebäuden eingehalten wird, die im Außenbereich im Sinne des § 35 Baugesetzbuch liegen.*
- 5.3.4-6 (Z) *Die in Planziffer 5.3.4-5 festgelegten Abstände sind bei der Planung von Höchstspannungsfreileitungen zur Übertragung von Drehstrom einzuhalten. Nur wenn die Einhaltung der Mindestabstände unzumutbar ist, ist eine Unterschreitung zulässig.*

## 6.3 Weitere Anforderungen - Richtwerte – Grenzwerte

In folgenden Tabellen sind die wichtigsten Anforderungen zusammengestellt.



Grenzwert / Richtwert	Grenzwert magn. Flussdichte B in $\mu\text{T}$ Effektivwert	Grenzwert elektr. Feldstärke E in V/m Effektivwert
<b>Gefährdung von Personen - Allgemeinbevölkerung</b>		
26. BImSchV, Allgemeinbevölkerung	300 (16,7 Hz) 100 (50 Hz)	5.000
NISV, Schweiz Anlagegrenzwert zur Vorsorge	1 $\mu\text{T}$	-
Risikoerhöhung für Kleinkinder in der Nachtphase für Leukämie (inter- nationale epidemiologische Studien)	> 0,3 - 0,4 $\mu\text{T}$	-
Stadt München bis 2016 Richtwert zur Förderung von Kindergärten	0,4 $\mu\text{T}$	-
<b>Gefährdung von Personen - Träger von Implantaten</b>		
Gefährdung von Trägern <b>aktiver</b> , kardialer Implantate nach DIN EN 50527-1 (1999/519/EG)	300 (16,7 Hz) 100 (50 Hz)	10.000 (16,7 Hz) 5.000 (50 Hz)
Gefährdung von Trägern <b>passiver</b> Implantate nach DGUV Regel 103-013	4.066 (16,7 Hz) 1.358 (50 Hz)	30.000 (16,7 Hz) 21.320 (50 Hz)
<b>Störfestigkeit von Geräten</b>		
Röhrenbildschirme	ab 0,3	-
DIN EN 61000-6-1: 2007 Störfestigkeit für Wohnbereich, Ge- schäfts- und Gewerbereiche sowie Kleinbetriebe	3,8	-
DIN EN 61000-6-2: 2006 Störfestigkeit Industriebereich	38	-

Tab. 10: Anforderungen für die Frequenz 50 Hz

Elektrische Geräte müssen grundsätzlich, ehe sie in Europa in den Verkehr gebracht werden dürfen, einer EMV-Prüfung unterzogen werden. Wenn in Ihnen Komponenten eingebaut sind, die durch ein niederfrequentes Magnetfeld beeinflusst werden können, wird auch für diese eine entsprechende Prüfung bei der Frequenz 50 Hz durchgeführt.

## 7 Berechnung der Immissionswerte

Anhand den in Abschnitt 4.2 dargestellten technischen Daten wurden flächendeckende Isolinienbilder für das gesamte Plangebiet für die Höhe 1 m und 15 m (voraussichtliche maximale Gebäudehöhe) über EOK berechnet, die im Anhang dargestellt sind. Die Berechnung wurde einerseits für die magnetische Flussdichte  $B$  in  $\mu\text{T}$  als auch die elektrische Feldstärke  $E$  in  $\text{V/m}$  durchgeführt. Da im Plangebiet zusätzlich Freileitungen der DB Energie verlaufen, für die höhere Grenzwerte für die magnetische Flussdichte gelten, da diese mit einer Frequenz von 16,7 Hz arbeiten, wurde für die magnetische Flussdichte auch die Summationswirkung der 16,7 Hz- und 50 Hz-Leitungen in Relation zu den Grenzwerten dargestellt.

Für das elektrische Feld weist die 26. BImSchV hingegen für beide Frequenzen den gleichen Grenzwert aus, so dass hier eine gesonderte Darstellung der Feldverteilung prozentual zum Grenzwert entbehrlich ist.

Es sei darauf hingewiesen, dass die im folgenden dargestellten Querprofile nicht immer durch die Punkte der maximalen Immission laufen, so dass die im Querprofil dargestellten Feldwerte niedriger als die in der zusammenfassenden Tabelle in Abschnitt 6.1.4 aufgelisteten Maximalwerte und den A3-Graphiken im Anhang sind.

Sie dienen vorrangig dazu die Abnahme der Felder mit zunehmender Entfernung von den Leitungstrassen zu verdeutlichen.

### 7.1 Magnetische Flussdichte

#### 7.1.1 Amprion / Syna - Freileitungstrasse

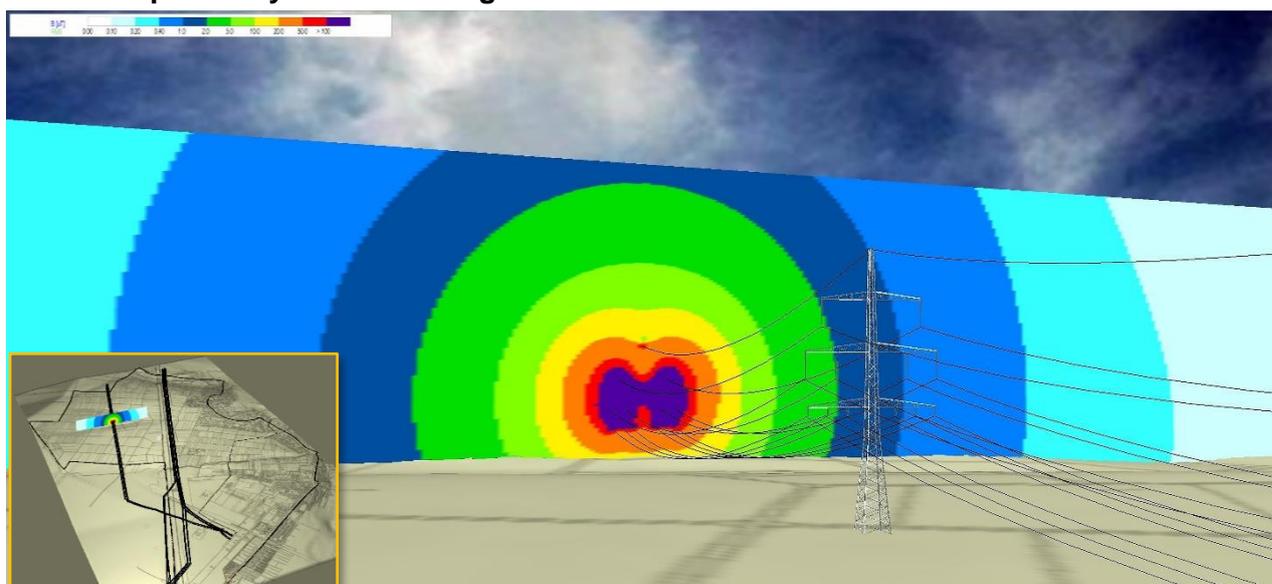


Abb. 7: Verteilung der magnetischen Flussdichte im Querprofil zur Amprion- / Syna-Freileitung mit Positionsfenster

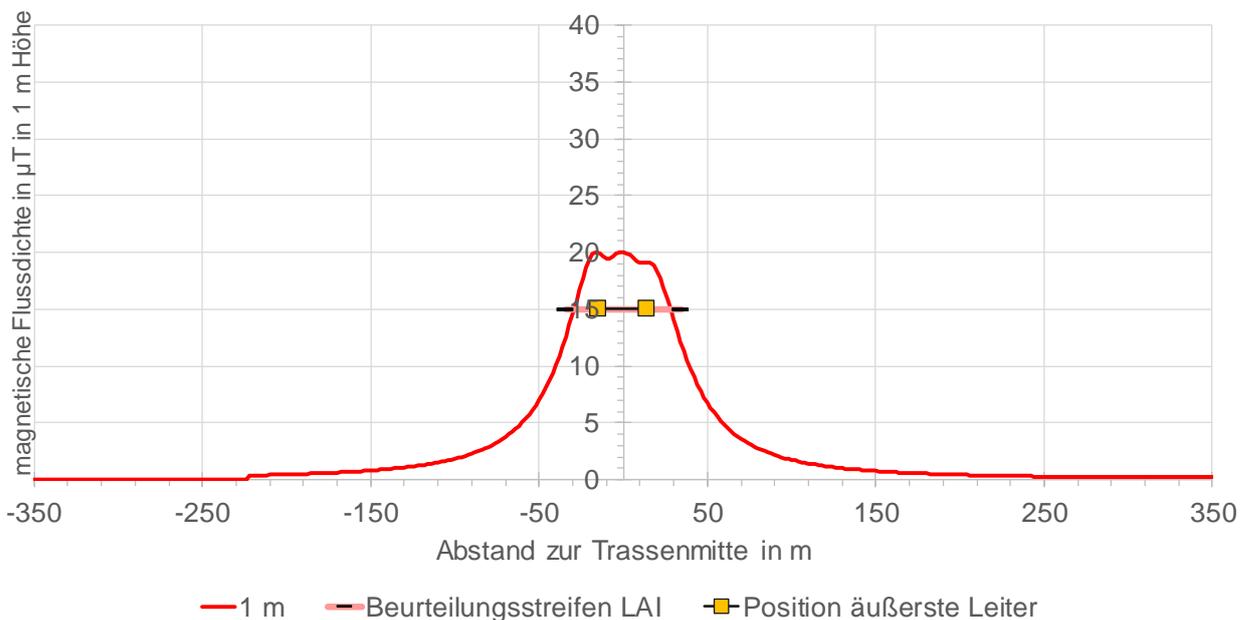


Abb. 8: Querprofil in 1 m Höhe zur Amprion / Syna - Freileitung zur Verdeutlichung der schnellen Abnahme des Felds mit zunehmenden Abstand von der Leitungstrasse (keine Maximalwerte)

### 7.1.2 TenneT / Avacon / DB - Freileitungstrasse

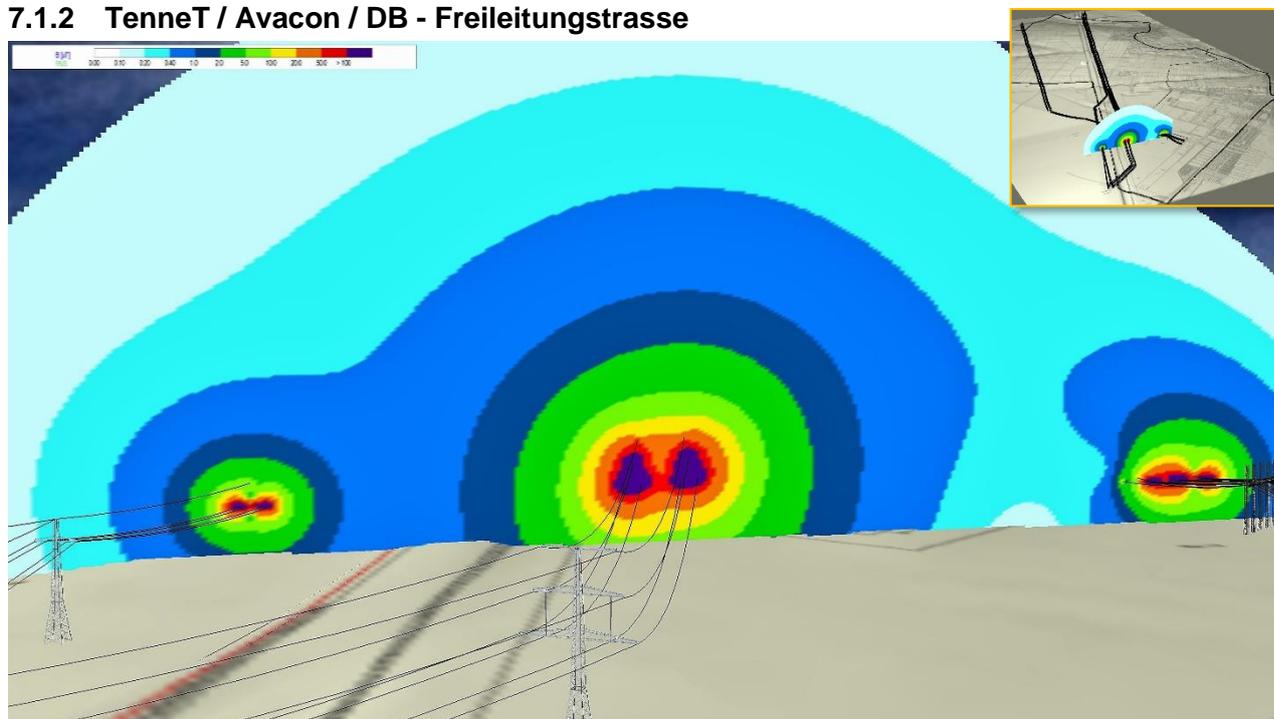


Abb. 9: Verteilung der magnetischen Flussdichte im Querprofil zur TenneT / Avacon-Freileitung sowie links der DB Energie-Freileitung und rechts dem Anschluss an das Umspannwerk West im südlichen Teil des Plangebiets (Positionsfenster zeigt Lage des Schnitts)

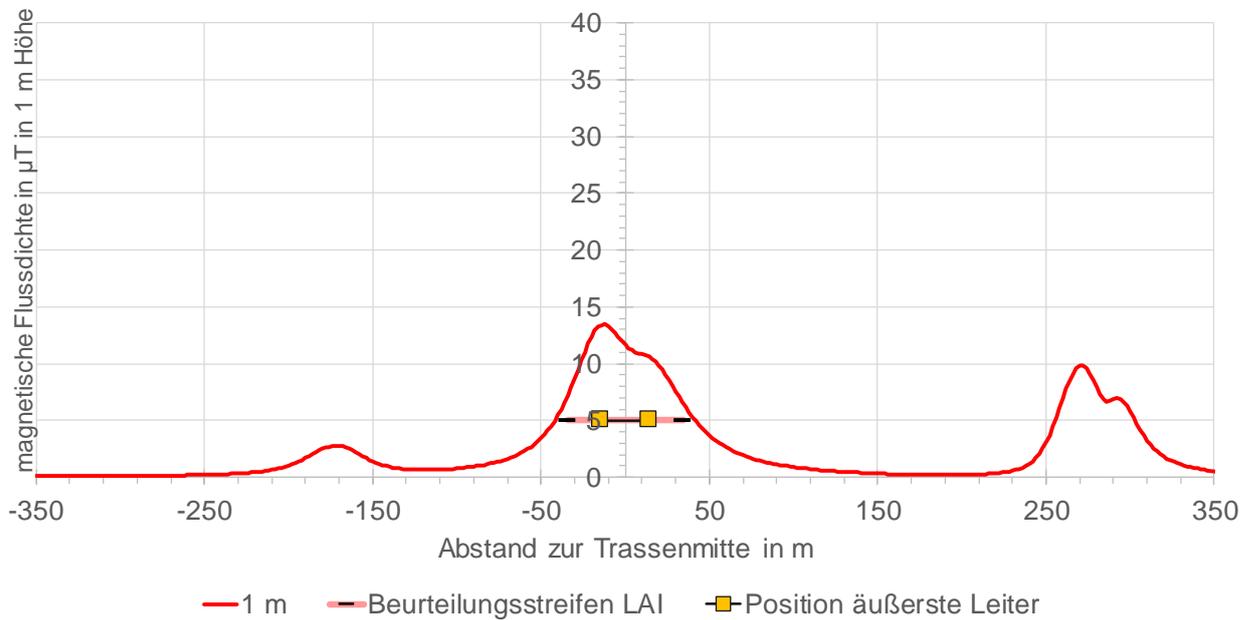


Abb. 10: Querprofil in 1 m Höhe zur TenneT / Avacon-Freileitung sowie links der DB Energie-Freileitung und rechts dem Anschluss an das Umspannwerk West im südlichen Teil des Plangebiets zur Verdeutlichung der schnellen Abnahme des Felds mit zunehmenden Abstand von der Leitungstrasse (keine Maximalwerte)

### 7.1.3 NRM - Erdkabeltrasse

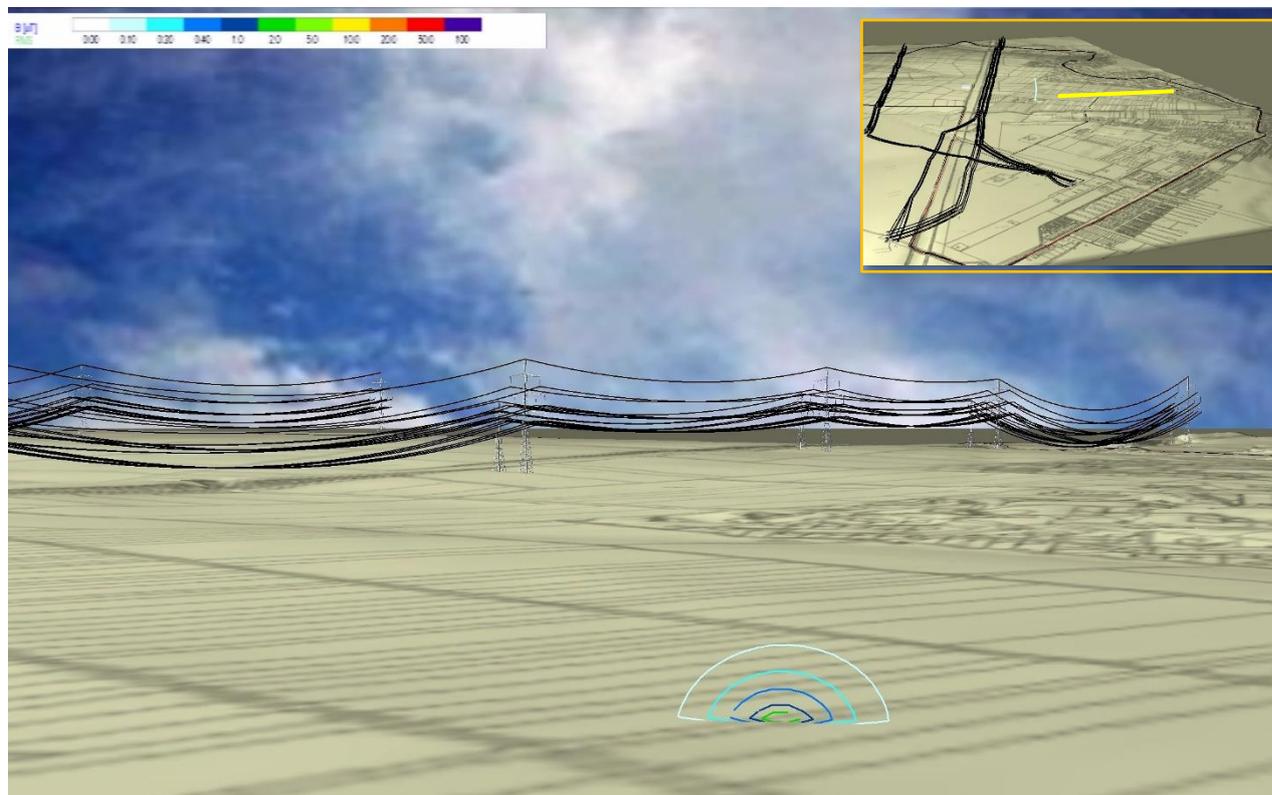


Abb. 11: Verteilung der magnetischen Flussdichte im Querprofil zur NRM – Erdkabeltrasse

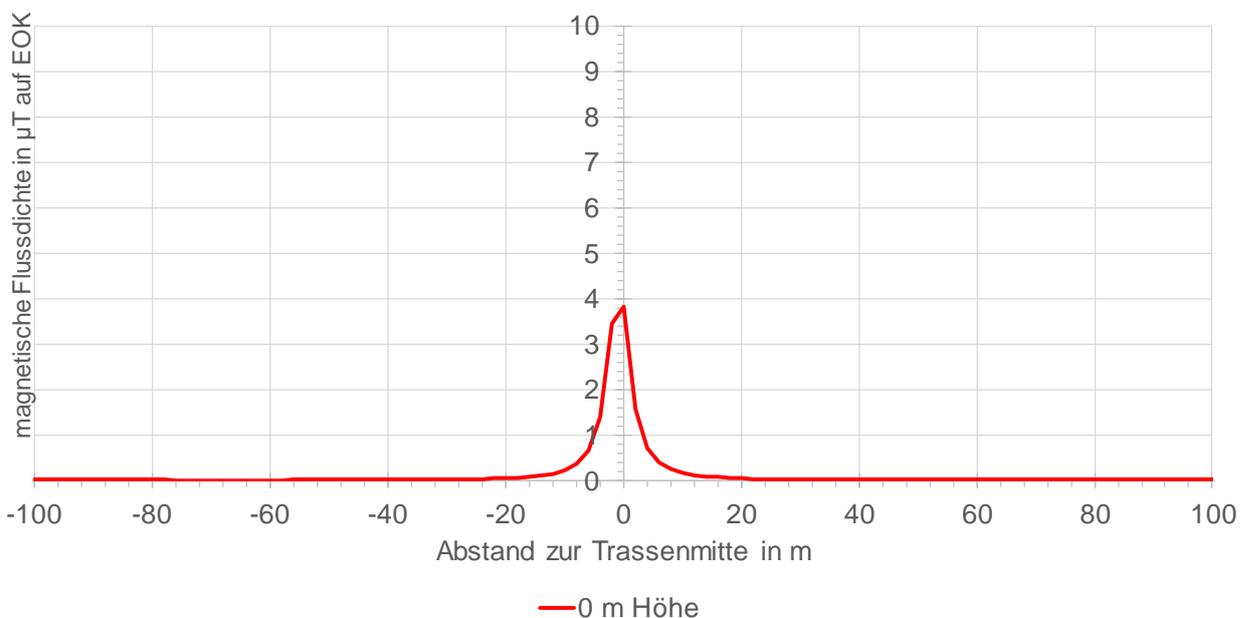


Abb. 12: Querprofil auf Erdoberkante (EOK) zur NRM - Erdkabeltrasse zur Verdeutlichung der schnellen Abnahme des Felds mit zunehmenden Abstand von der Leitungstrasse (keine Maximalwerte)

### 7.1.4 Zusammenfassung Immissionswerte

Die Graphiken zu den nachstehend angeführten Immissionswerten finden sich im Anhang.

Immissionswerte als magn. Flussdichte B in $\mu\text{T}$ bzw. Ausschöpfung des Grenzwerts der 26. BImSchV in Prozent	Höhe über EOK	Amprion / Syna - Freileitung	TenneT / Avacon - Freileitung	NRM - Erdkabel
Höchster Wert direkt unter Freileitung / Über Erdkabel	1 m	32,7 $\mu\text{T}$ 32,7 %	30,8 $\mu\text{T}$ 30,4 %	3,3 $\mu\text{T}$ 3,3 %
40 m Abstand zur Trassenmitte (Rand des Schutzstreifens)	1 m	11,7 $\mu\text{T}$ 11,7 %	6,0 $\mu\text{T}$ 5,5 %	-
	15 m	14,6 $\mu\text{T}$ 14,6 %	7,9 $\mu\text{T}$ 7,5 %	-
Unterschreitung 1- $\mu\text{T}$ -Isolinie im Abstand von der Trassenmitte	1 m	> 131 m	> 92 m	> 6,0 m
	15 m	> 138 m	> 97 m	-
Unterschreitung 0,4- $\mu\text{T}$ -Isolinie im Abstand von der Trassenmitte	1 m	> 208 m	> 136 m	> 8,8 m
	15 m	> 216 m	> 142 m	-

Tab. 11: Immissionswerte für die magn. Flussdichte B in  $\mu\text{T}$  bzw. Ausschöpfung des Grenzwerts der 26. BImSchV in Prozent in 1 m und 15 m Höhe **bei voller Anlagenauslastung**

Direkt unter den Freileitungen wird der Grenzwert der 26. BImSchV von 100  $\mu\text{T}$  (50 Hz-Felder) und 300  $\mu\text{T}$  (16,7 Hz-Felder) für die magnetische Flussdichte sicher eingehalten. Maximal werden direkt unter den Freileitungen in 1 m Höhe über EOK 32,7  $\mu\text{T}$  oder 32,7 % vom Grenzwert erreicht. In 15 m Höhe über EOK werden in 40 m Abstand zur Trassenmitte maximal 14,6  $\mu\text{T}$  oder 14,6 % vom Grenzwert der 26. BImSchV erreicht.

Die höchsten Werte treten dabei im westlichen Teil des Plangebiets unter der 380-kV-Amprion-Freileitung auf (siehe Anhang).

Die 1- $\mu\text{T}$ -Isolinie wird bei höchster Anlagenauslastung maximal im Abstand von 131 m von der Trassenmitte der Amprion-Freileitung unterschritten, die 0,4  $\mu\text{T}$ -Isolinie im Abstand von 208 m von der Trassenmitte der Amprion-Freileitung jeweils in 1 m Höhe; in 15 m Höhe erhöhen sich diese Werte um 7 m bzw. 8 m.

Für die im Anhang dargestellte Feldverteilungen sind für die voraussichtliche maximale Bebauungshöhe von 15 m keine konkreten Immissionswerte für den Bereich direkt unter den Leitungen angegeben, da die Leiterseile in den Trassenmitte vereinzelt tiefer hängen.

Wie Abschnitt 6.1.4 zu entnehmen ist, ist mit einer durchschnittlichen Auslastung der Freileitungen von ca. 40 % im ungünstigsten Fall zu rechnen. Für diesen Fall würden die 0,4- $\mu\text{T}$ - und 1- $\mu\text{T}$ -Isolinien in den folgenden Abständen zur Trassenmitte unterschritten:

Abstände für die Immissionen der magnetische Flussdichte B	Höhe über EOK	Amprion / Syna - Freileitung	TenneT / Avacon - Freileitung	NRM - Erdkabel
Unterschreitung 1- $\mu$ T-Isolinie im Abstand von der Trassenmitte	1 m	83 m	58 m	3,8 m
	15 m	87 m	61 m	-
Unterschreitung 0,4- $\mu$ T-Isolinie im Abstand von der Trassenmitte	1 m	131 m	86 m	5,6 m
	15 m	137 m	90 m	-

Tab. 12: Abstände in denen die Immissionswerte für die magnetische Flussdichte B ausgewählte Isolinien in 1 m und 15 m Höhe unterschreiten, bei angenommener durchschnittlicher Auslastung von 40 % der Nennlast.

## 7.2 Elektrische Feldstärke

### 7.2.1 Amprion / Syna - Freileitungstrasse

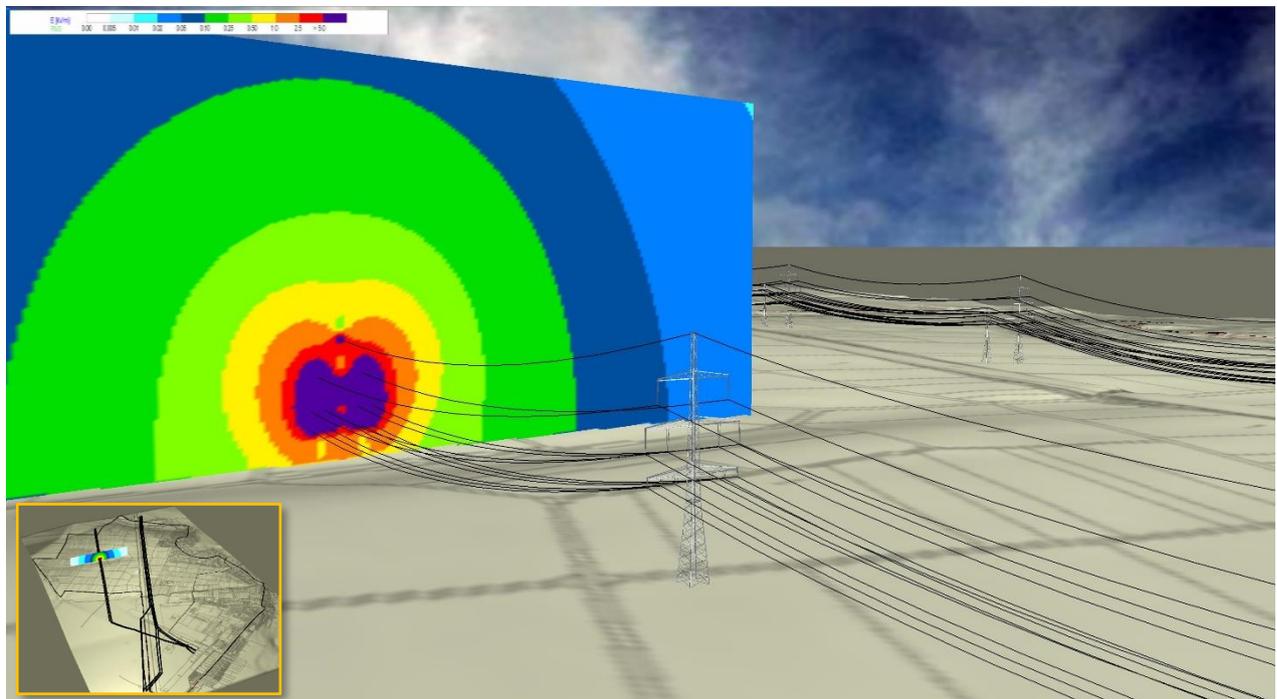


Abb. 13: Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querprofil zur Amprion- / Syna-Freileitung

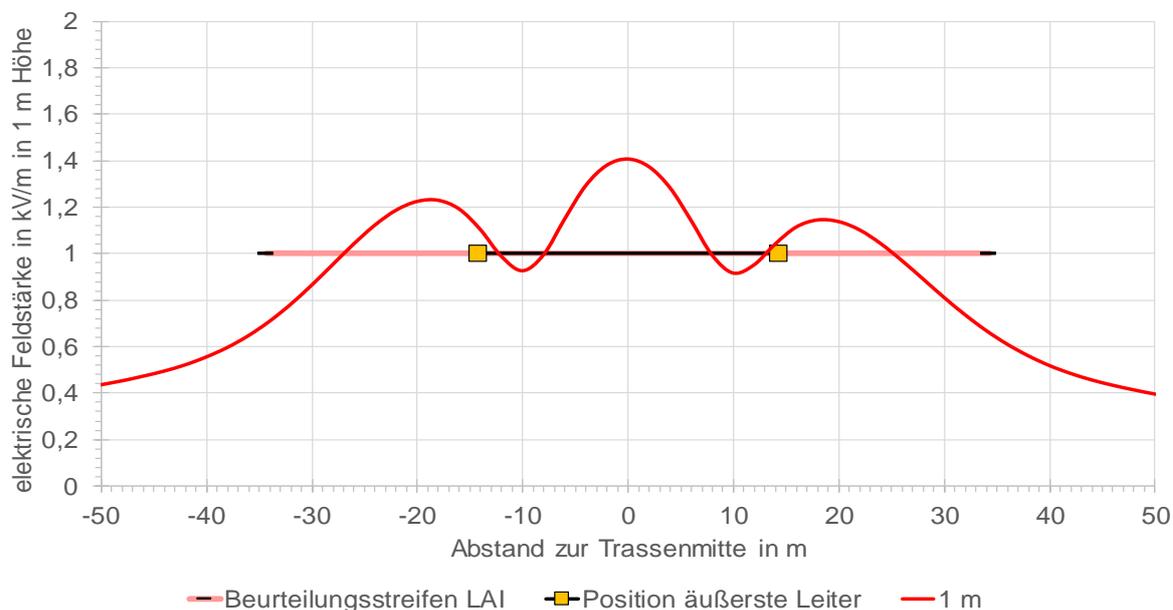


Abb. 14: Querprofil in 1 m Höhe zur Amprion / Syna – Freileitung

### 7.2.2 TenneT / Avacon / DB - Freileitungstrasse

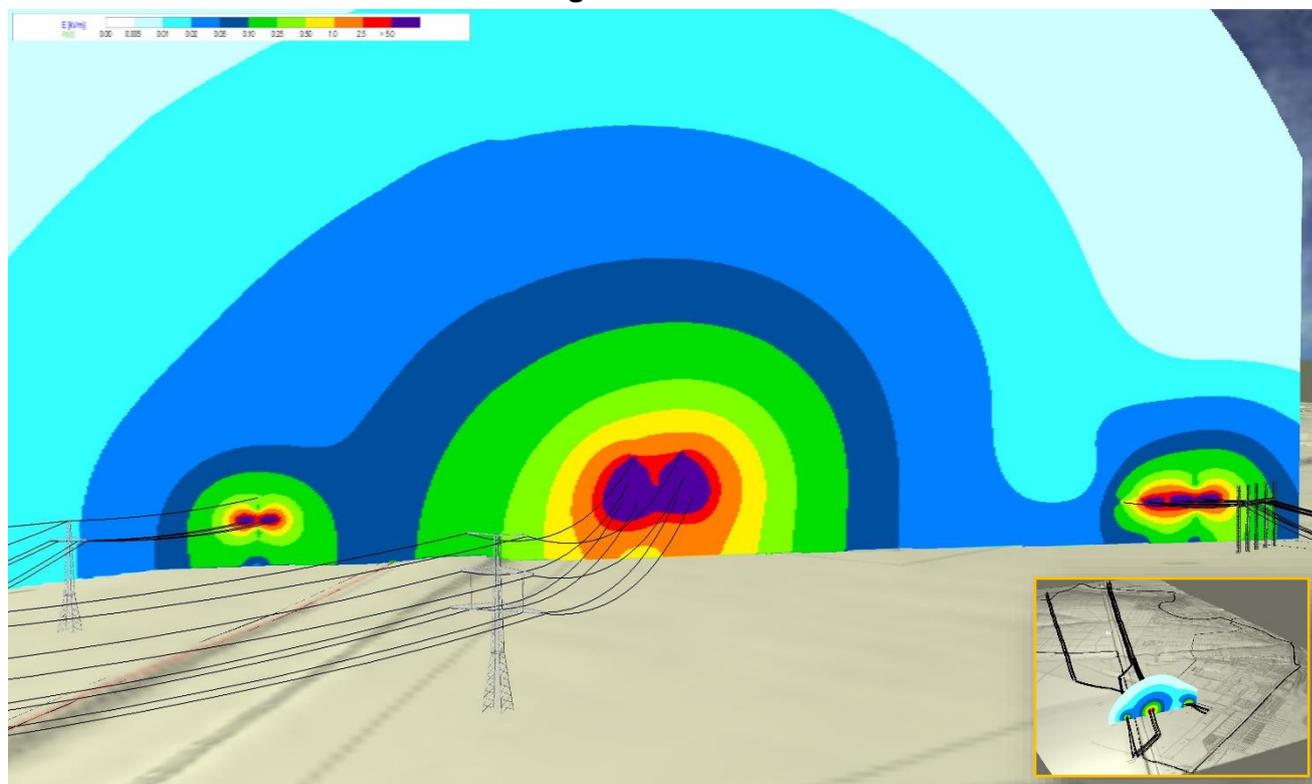


Abb. 15: Verteilung der elektrischen Feldstärke im Querprofil zur TenneT / Avacon-Freileitung sowie links der DB Energie-Freileitung und rechts dem Anschluss an das Umspannwerk West im südlichen Teil des Plangebiets

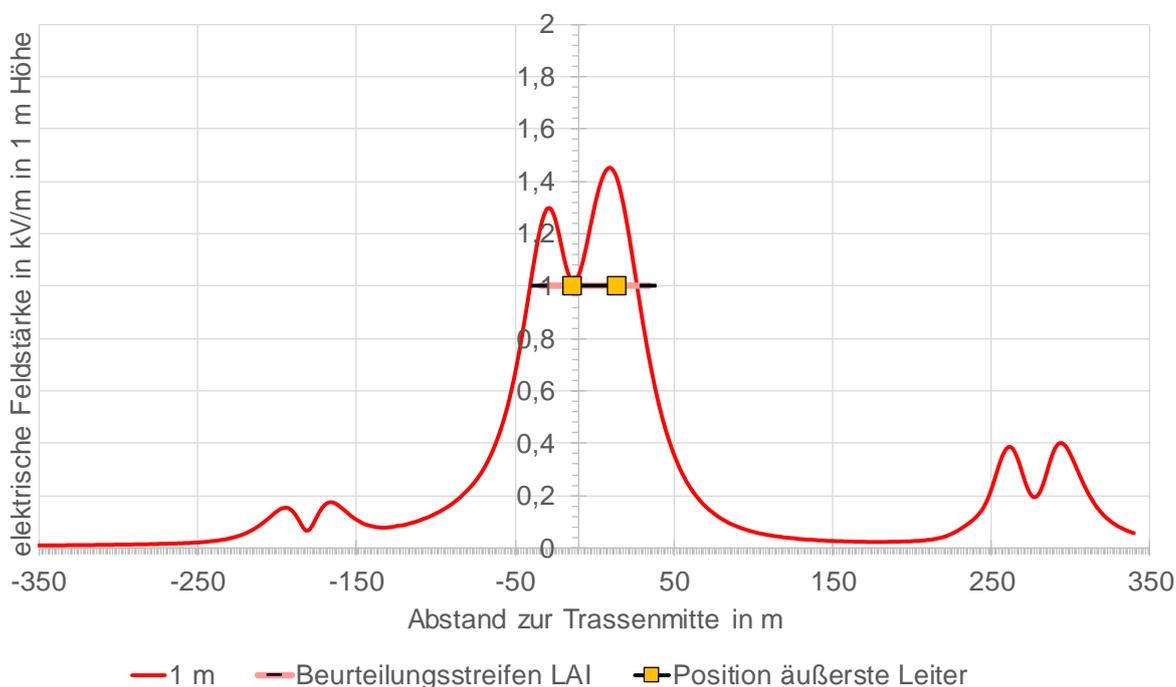


Abb. 16: Querprofil in 1 m Höhe zur TenneT / Avacon-Freileitung sowie links der DB Energie-Freileitung und rechts dem Anschluss an das Umspannwerk West im südlichen Teil des Plangebiets

### 7.2.3 Zusammenfassung Immissionswerte

Immissionswerte als elektrische Feldstärke E in kV/m bzw. Ausschöpfung des Grenzwerts der 26. BImSchV in Prozent	Höhe über EOK	Amprion / Syna - Freileitung	TenneT / Avacon - Freileitung	NRM - Erdkabel
Höchster Wert unter Freileitung	1 m	2,59 kV/m 51,8 %	4,44 kV/m 88,8 %	- -
40 m Abstand zur Trassenmitte (Rand des Schutzstreifens)	1 m	0,58 kV/m 11,6 %	0,58 kV/m 11,6 %	- -
	15 m	0,84 kV/m 16,8 %	0,50 kV/m 10,0 %	- -

Tab. 13: Immissionswerte für die elektrische Feldstärke E in kV/m bzw. Ausschöpfung des Grenzwerts der 26. BImSchV in Prozent in 1 m und 15 m Höhe

Direkt unter den Freileitungen wird der Grenzwert der 26. BImSchV von 5 kV/m für die elektrische Feldstärke sicher eingehalten. Maximal werden direkt unter den Freileitungen in 1 m Höhe über EOK 4,44 kV/m oder 88,8 % vom Grenzwert erreicht. In 15 m Höhe über EOK werden in 40 m Abstand zur Trassenmitte maximal 0,84 kV/m oder 16,8 % vom Grenzwert der 26. BImSchV erreicht.

Die höchsten Werte treten dabei im südlichen Teil des Plangebiets unter der 380-kV-TenneT-Freileitung auf (siehe Anhang).

Ebenso werden die Richtwerte für Funkentladungen und erhebliche Belästigungen eingehalten. Anhaltspunkte für erhebliche Belästigungen oder Schäden sind damit nicht gegeben, da der diesbezügliche Beurteilungswert nach LAI Hinweisen [2] unterschritten wird.

Für die im Anhang dargestellte Feldverteilungen sind für die voraussichtliche maximale Bebauungshöhe von 15 m keine konkreten Immissionswerte für den Bereich direkt unter den Leitungen angegeben, da die Leiterseile in den Trassenmitte vereinzelt tiefer hängen.

### **7.3 Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich von 9 kHz bis 10 MHz**

Gemäß § 3 Abs. (3) der novellierten Fassung der 26. BImSchV sind auch die Immissionen durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz zu berücksichtigen, die einer Standortbescheinigung bedürfen. Dies betrifft vor allem Langwellen-, Mittelwellen- und Kurzwellenrundfunksender, die eine Reichweite bis zu 1000 km haben.

Gemäß Abs. II.3.4 der LAI Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV tragen Immissionen durch Hochfrequenzanlagen im oben genannten Frequenzbereich ab einem Abstand von 300 m nicht relevant zur Vorbelastung bei und machen daher eine gezielte Vorbelastungsermittlung entbehrlich, sofern keine gegenteiligen Anhaltspunkte bestehen.

Die nächstgelegene, diesbezüglich relevante Hochfrequenzanlage befindet sich beim Hessischen Rundfunk in Frankfurt-Westend in mehr als 4 km Entfernung und muss daher nicht berücksichtigt werden.

Demnach ergibt sich auch mit Berücksichtigung des Anteils der Hochfrequenzanlagen bis 10 MHz eine sichere Einhaltung der Grenzwerte der 26. BImSchV in der Gesamtimmission.

## **8 Anwendung des Minimierungsgebots von §4 Abs. (2) der 26. BImSchV**

Laut §4 Abs. (2) der 26. BImSchV [1] sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Die nähere Vorgehensweise regelt die 26. BImSchVVwV [5]. Die Errichtung einer

Im Rahmen einer Vorprüfung ist zu prüfen inwieweit der Austausch von zwei 110-kV-Stromkreisen der Avacon gegen zwei 380-kV-Stromkreisen durch die Fa. Amprion auf einer bestehenden Trasse der Avacon den Anforderungen der 26. BImSchVVwV [5] unterliegt.

### **8.1 Vorprüfung nach 26. BImSchVVwV [5]**

Das geplante Vorhaben der Fa. Amprion ist nach §4 Absatz (2) als wesentliche Änderung anzusehen und unterliegt damit der 26. BImSchVVwV.

Der Einwirkungsbereich einer 50 Hz-Freileitungstrasse mit einer Nennspannung gleich oder über 380 kV beträgt laut Abs. 3.2.1.2 der 26. BImSchVVwV 400 m bezogen auf die Bodenprojektion des äußeren ruhenden Leiters der Freileitungstrasse. Der Bewertungsabstand beträgt 20 m.

Bezogen auf die Trassenmitte beträgt der Einwirkungsbereich 414,25 m und der Bewertungsabstand 34,25 m.

Die Bewertung hat laut Abs. 4 der 26. BImSchVVwV [5] in 1 m Höhe über EOK über dem Boden zu erfolgen. Zunächst muss bestimmt werden, ob sich im Einwirkungsbereich der Trasse maßgebliche Minimierungsorte (MMO) befinden. Ist dies der Fall, ist eine Untersuchung des Minimierungspotentials für die Mitte des MMO durchzuführen. Im derzeitigen Verfahrensstadium ist weder die Trasse genau definiert, noch existieren Pläne zur umliegenden Bebauung. Insofern können auch noch keine konkreten Minimierungsorte bestimmt werden.

Abweichend von den maßgeblichen Immissionsorten der 26. BImSchV 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 [1], sowie jedes Grundstück oder Gebäudeteil, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. Hierbei bezieht sich §4 Abs. 1 26. BImSchV [1] explizit auf Wohnungen, Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Kinderhorte, Spielplätze oder ähnliche Einrichtungen und den zugehörigen Grundstücken. Arbeitsplätze, gewerblichen Flächen, Supermärkte, landwirtschaftliche Flächen, nur landwirtschaftliche genutzte Gebäude wie Scheunen, Wege und Straßen stellen daher keine maßgeblichen Minimierungsorte dar und die 26. BImSchVVwV muss daher nicht auf sie angewandt werden. Die Minimierungsforderung dient vorrangig zum vorsorglichen Schutz von sensiblen Orten.

## 8.2 Minimierungsmaßnahmen für die Drehstrom-Freileitungen

Für die Drehstromsysteme der Amprion-Freileitung sind nach Abs. 5.3.1 der 26. BImSchVVwV [5] noch zusätzlich folgende Punkte zu prüfen:

<b>Minimierungsmaßnahme</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Bewertung für die Amprion – 380 kV - Freileitung</b>
1. Abstandsoptimierung:	Die Leiterseile sollen einen größtmöglichen Abstand zu maßgeblichen Minimierungsorten haben. Dies kann durch Erhöhung der Masten oder Verringerung der Spannfeldlänge erfolgen. Wenn ein Stromkreis auf einer von einem maßgeblichen Minimierungsort abgewandten Seite der Traverse geführt wird können die Immissionen verringert werden.	Die 380-kV-Stromsysteme der Amprion werden auf einer bestehenden Trasse geführt mit bestehendem Gestänge (Masten). Die Masten können daher nicht mehr verändert werden. Zudem kann eine Überspannung von maßgeblichen Minimierungsorten nicht erfolgen. Die Maßnahme kann daher im vorliegenden Fall nicht angewandt werden.
2. Elektrische Schirmung	Es werden elektrisch leitfähige Schirmflächen oder -leiter vorzugsweise zwischen den spannungsführenden Leitungsteilen und einem	Die geplanten 380-kV-Stromkreise werden von zwei 110-kV-Stromkreisen unterspannt. Dem Minimierungsgebot „Elektrische



	<p>MMO als Bestandteil der Anlage eingeführt. Dies kann durch das Mitführen von Erdseilen geschehen oder bei monopolaren Systemen durch das Mitführen eines Erdseils.</p>	<p>Schirmung wird hier deshalb bereits genüge getan.</p>
3. Minimieren der Seilabstände	<p>Die Abstände zwischen den Seilen, insbesondere zwischen spannungs- und stromführenden Leiterseilen werden minimiert; hierzu gehört auch die Minimierung der Seilabstände innerhalb eines Stromkreises und die Minimierung der Abstände zu anderen Stromkreisen.</p>	<p>Die 380-kV-Stromsysteme der Amprion werden auf einer bestehenden Trasse geführt mit bestehendem Gestänge (Masten). Die Masten können daher nicht mehr verändert werden. Zudem kann eine Überspannung von maßgeblichen Minimierungsorten nicht erfolgen. Die Maßnahme kann daher im vorliegenden Fall nicht angewendet werden.</p>
4. Optimieren der Mastkopfgeometrie	<p>Zwischen möglichen Masttypen wird derjenige ausgewählt, dessen Mastkopfbild eine für die Kompensation von entstehenden elektrischen und magnetischen Feldern geometrisch günstige Aufhängung der Leiterseile ermöglicht. Für die Kompensation von elektrischen und magnetischen Feldern ist grundsätzlich eine vertikale Anordnung der Außenleiterseile günstiger als eine horizontale.</p>	<p>Die 380-kV-Stromsysteme der Amprion werden auf einer bestehenden Trasse geführt mit bestehendem Gestänge (Masten). Die Masten können daher nicht mehr verändert werden. Zudem kann eine Überspannung von maßgeblichen Minimierungsorten nicht erfolgen. Die Maßnahme kann daher im vorliegenden Fall nicht angewendet werden.</p>
5. Optimieren der Leiteranordnung	<p>Bei einer vorgegebenen geometrischen Seilanordnung wird die Anschlussreihenfolge der Drehstromleiter an die Seile so gewählt, dass sich die von den einzelnen Leiterseilen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder bestmöglich kompensieren.</p>	<p>Durch Optimierung der Phasen können die elektrische und magnetischen Felder bezogen auf bestimmte Bereiche minimiert werden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass dies nicht an anderen ebenso relevanten Bereichen nicht zur Felderhöhung führt.</p>

Tab. 14: Zu prüfende Minimierungsmaßnahmen nach 26. BImSchVVwV für Drehstrom-Freileitungssysteme [5]

### 8.3 Phasenoptimierung Magnetische Flussdichte B

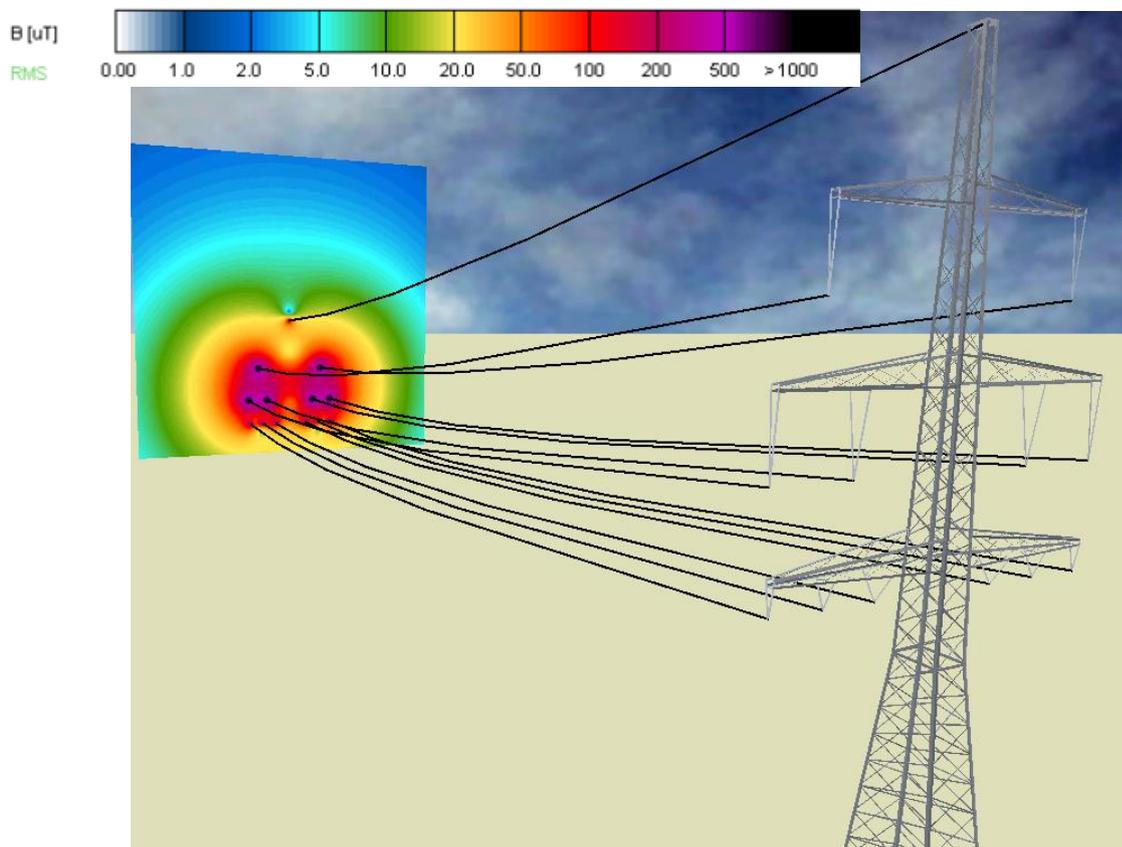


Abb. 17: Feldverteilung für die magnetische Flussdichte im vertikalen Schnitt im Bereich des größten Durchgangs durch die Amprion / Syna-Freileitung – Konfiguration nach Planung von Amprion

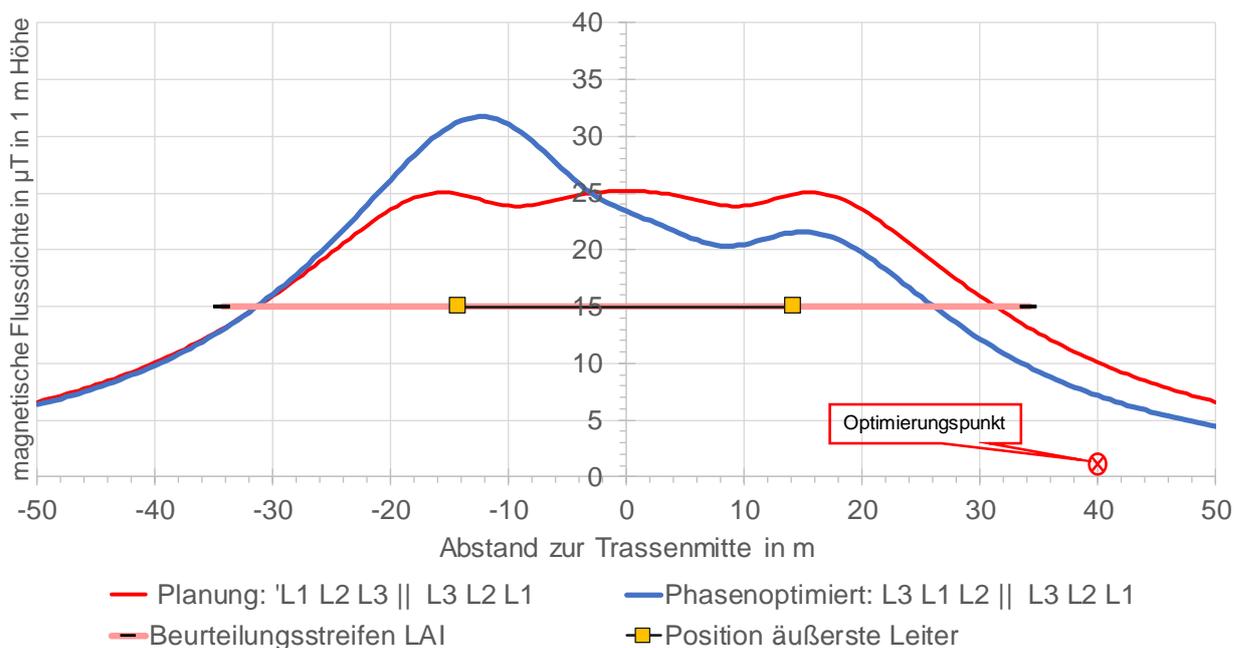


Abb. 18: Phasenoptimierung auf Optimierungspunkt in 1 m Höhe am Rand des Schutzstreifens in 40 m Abstand zur Trassenmitte für die magnetische Flussdichte

Durch Optimierung der Phasenordnung kann die magnetische Flussdichte gezielt z.B. auf der Ostseite der Trasse reduziert werden. In Abb. 18 wurde die Phasenordnung der 380-kV-Systeme so optimiert, dass die magnetische Flussdichte  $B$  am Optimierungspunkt auf der Ostseite der Trasse in 1 m Höhe und 40 m Abstand zur Trassenmitte (Rand des Schutzstreifens) minimal ist. Die magnetische Flussdichte kann damit am Optimierungspunkt von  $11,9 \mu\text{T}$  auf  $8,0 \mu\text{T}$  minimiert werden.

Diese Konfiguration würde jedoch für die Westseite der Trasse nicht die optimale Lösung darstellen. Die von Amprion geplante Phasenkonfiguration stellt daher eine gute Kompromisslösung sowohl für Punkte unter der Freileitung sowie beidseitig des Schutzstreifens dar.

#### 8.4 Phasenoptimierung Elektrische Feldstärke E

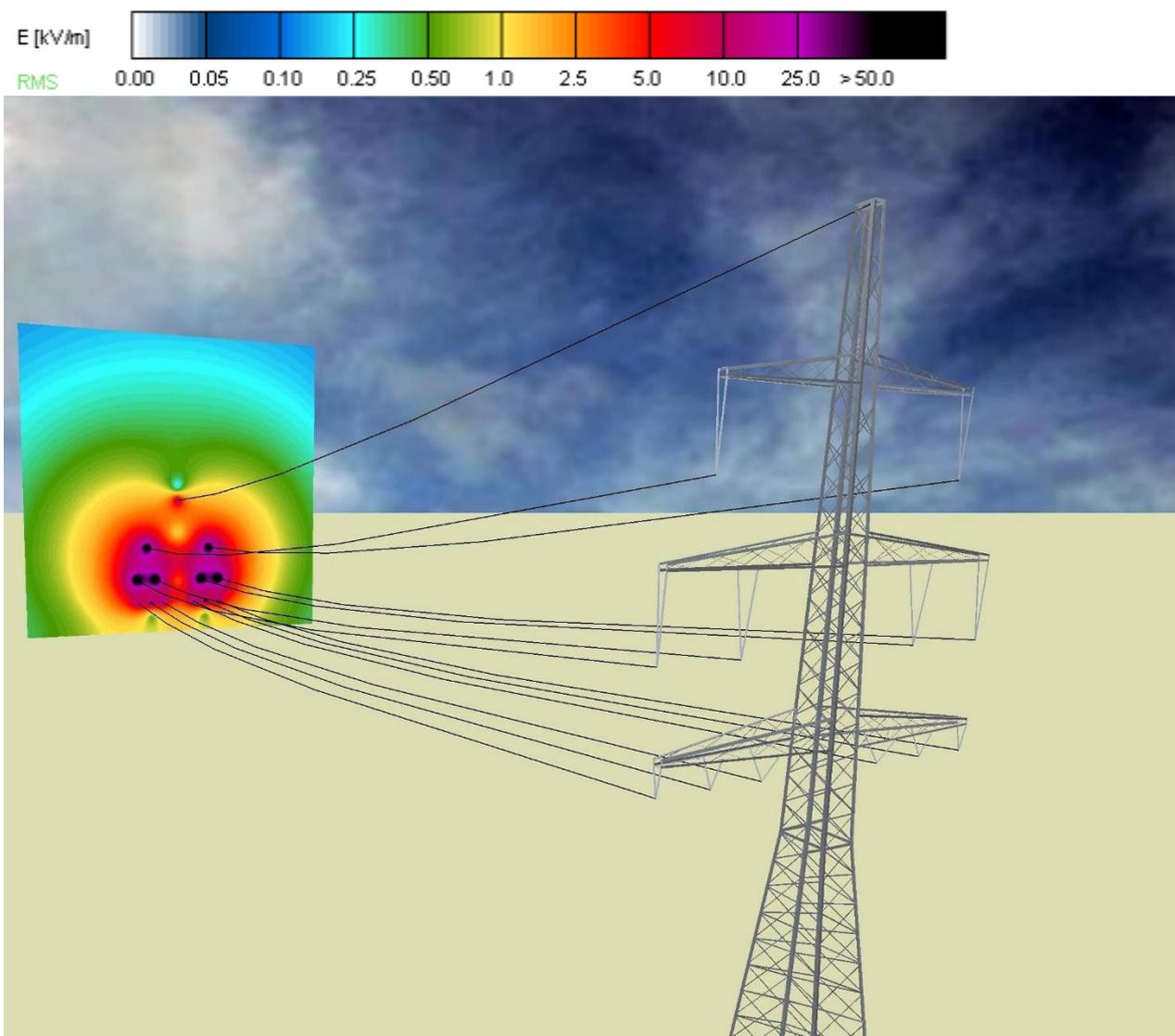


Abb. 19: Feldverteilung für die elektr. Feldstärke im vertikalen Schnitt im Bereich des größten Durchhangs durch die Amprion / Syna-Freileitung – geplante Konfiguration

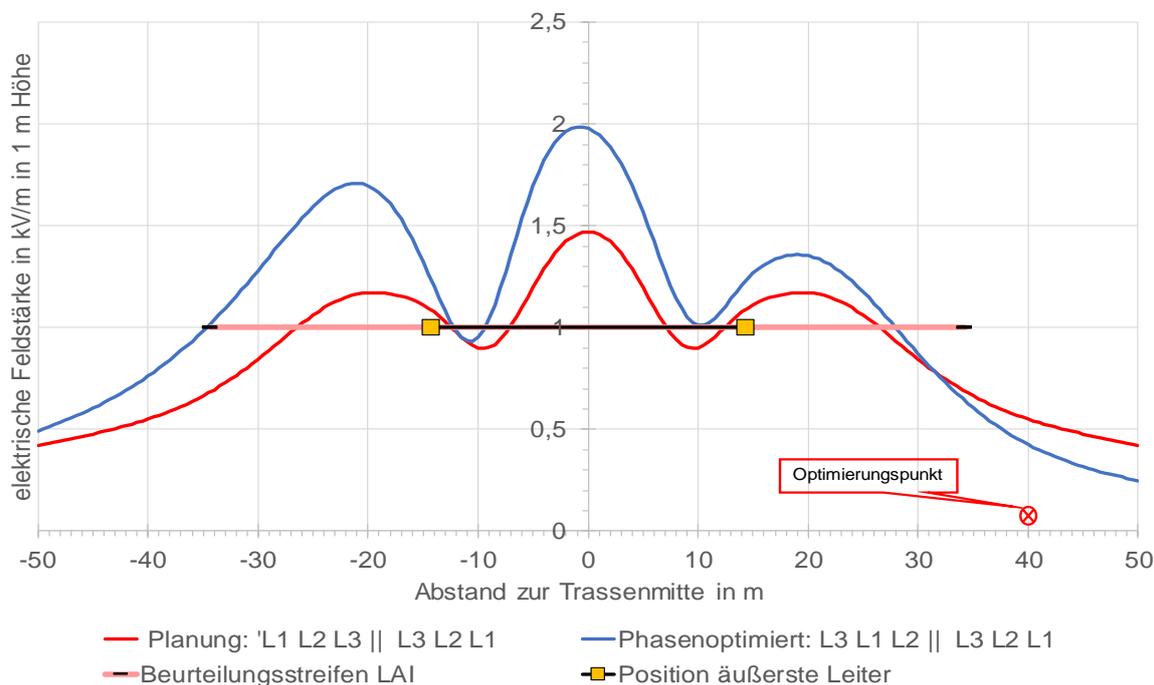


Abb. 20: Phasenoptimierung auf Optimierungspunkt in 1 m Höhe am Rand des Schutzstreifens für die elektrische Feldstärke

Durch Optimierung der Phasenordnung kann die elektrische Feldstärke ebenfalls gezielt z.B. auf der Ostseite der Trasse reduziert werden. In Abb. 20 wurde die Phasenordnung der 380-kV-Systeme so optimiert, dass die elektrische Feldstärke  $E$  am Optimierungspunkt auf der Ostseite der Trasse in 1 m Höhe und 40 m Abstand zur Trassenmitte (Rand des Schutzstreifens) minimal ist. Die elektrische Feldstärke kann damit am Optimierungspunkt von 0,54 kV/m auf 0,43 kV/m minimiert werden.

Diese Konfiguration würde jedoch für die Westseite der Trasse nicht die optimale Lösung darstellen. Hier führt diese Phasenordnung zu einem deutlichen Anstieg der Feldwerte. Die von Amprion geplante Phasenkonfiguration stellt daher eine gute Kompromisslösung sowohl für Punkte unter der Freileitung sowie beidseitig des Schutzstreifens dar.

## 9 Störung von elektrischen Geräten

Der Störfestigkeitsrichtwert für el. Geräte, Steuerung, und Regler, die mit einer Frequenz von 50 Hz geprüft wurden, beträgt nach DIN EN 61000-6-2 für den Industriebereich 37,8  $\mu\text{T}$ ; für Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe nach DIN EN 61000-6-1 3,8  $\mu\text{T}$ .



Störfestigkeit für Industrie überschritten nach DIN EN 61000-6-2

Störfestigkeit Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe überschritten nach DIN EN 61000-6-2



Abb. 21: Bereiche der Überschreitung der Störfestigkeitsrichtwerte für Industrie (rot) und Wohn- bzw. Gewerbeumfeld (grün) - Berechnungshöhe 1 m.



Abb. 22: Bereiche der Überschreitung der Störfestigkeitsrichtwerte für Industrie (rot) und Wohn- bzw. Gewerbeumfeld (grün) - Berechnungshöhe 15 m.

Wie Abb. 21 zeigt, werden im Bebauungsgebiet die Werte für Geräte für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe fast überall eingehalten. Ausnahmen stellen der Nahbereich der Amprion – Freileitung dar sowie der südliche Teil der TenneT-Freileitung. Die Richtwerte für Geräte für den Industriebereich werden in 1 m Höhe durchgängig eingehalten.

Die Richtwerte für Röhrenbildschirmgeräte werden hingegen großflächig überschritten. Wir empfehlen die zukünftigen Nutzer darauf hin zu weisen, dass es beim Betrieb von alten Röhrenfernsehern oder Computermonitoren in seltenen Fällen zu Bildstörungen kommen kann und deshalb unempfindlichere Flachbildschirme empfohlen werden.

Für den Zeitraum nach Inbetriebnahme der Stromversorgung der zu errichtenden Gebäude, können zusätzliche Einflüsse hinzukommen. Es ist davon auszugehen, dass der 50 Hz - Anteil (Energieversorgung) und der mittelfrequente Anteil (Beleuchtung, Induktionskochherde) ansteigen werden.

## 10 Zusammenfassung und Bewertung

Die Untersuchung der Auswirkung der von den Freileitungstrassen und der Erdkabeltrasse verursachten magnetischen und elektrischen 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 **magnetischen Flussdichte B** der Grenzwert der 26. BImSchV überall im Plangebiet sicher eingehalten wird. Im ungünstigsten Fall werden in 1 m Höhe über EOK direkt unter der Amprion-Freileitung maximal 41,2  $\mu\text{T}$  oder 41,2 % vom Grenzwert der 26. BImSchV erreicht.
- Für die **elektrische Feldstärke E** treten unter Worst-Case-Bedingungen direkt unter der Leitung Werte von maximal 4,44 kV/m auf. Damit wird der Grenzwert der 26. BImSchV in Höhe von 5 kV/m zu 88,8 % ausgeschöpft.

Ebenso werden die Richtwerte für Funkentladungen und erhebliche Belästigungen eingehalten. Anhaltspunkte für erhebliche Belästigungen oder Schäden sind damit nicht gegeben, da der diesbezügliche Beurteilungswert nach LAI Hinweisen [2] unterschritten wird.

- Da die Grenzwerte für die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke der 26. BImSchV und das Beurteilungskriterium für erhebliche Belästigungen oder Schäden selbst im ungünstigsten Fall bereits direkt unter den Freileitungen in 1 m Höhe über EOK eingehalten werden, gilt dies erst recht für weiter entfernt liegende Immissionsorte und damit für das gesamte Plangebiet (**Erst-Recht-Schluss**). Die Bebauung des Plangebiets ist somit grundsätzlich zulassungsfähig, da keine unüberwindbaren Planungshindernisse bestehen.

- Das Minimierungsgebot nach §4 Abs (2) 26. BImSchV [1] ist für das Bauvorhaben der Amprion durch Phasenoptimierung erfüllbar, wie in Abschnitt 7 gezeigt werden konnte. Jedoch ist darauf zu achten, dass dies nicht zu einer Verschlechterung der Immissionssituation an anderen Orten führt.
- Da die Grenzwerte der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke der 26. BImSchV eingehalten werden können, kann damit auch eine Gefährdung von Trägern aktiver und passiver Implantate im Plangebiet, ausgehend von der Freileitungstrassen und der Erdkabeltrasse ausgeschlossen werden.
- Inwieweit den Anforderungen des hessischen Landesentwicklungsplans begegnet werden kann, bleibt offen.
- Aus Sicht des Immissionsschutzes und der Vorsorge empfehlen wir in direkter Nachbarschaft zu den Freileitungstrassen vorwiegende Gewerbe- und Industriebetriebe vorzusehen.

## 11 Vorschläge zur Aufnahme in den Bebauungsplan

Zur Aufnahme in den Satzungstext sowie in die Begründung des Bebauungsplanes werden aus der Sicht des Immissionsschutzes zum Schutz vor Gefährdungen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder sowie möglichen Belästigungen durch unzulässige Berührungsspannungen bzw. Funkenentladungen, die nachfolgend aufgeführten Formulierungen vorgeschlagen:

- An die im Plangebiet vorgesehene Bebauung (außerhalb der jeweiligen Schutzstreifen der Freileitungen) stellen sich zur Erfüllung von §3 Abs. (2) und Abs. (4) der 26. BImSchV keine Forderungen. Gebäude innerhalb der Schutzstreifen (i.d.R. ca. 40 m beidseits der Leitung) sind nicht zulässig. Sie werden zeichnerisch gesichert, indem in diesem Bereich keine überbaubare Grundstücksfläche festgesetzt wird.
- Durch die TÜV SÜD Industrie Service GmbH wurde zur Aufstellung eines Bebauungsplans eine Untersuchung zur Immissionsbelastung des Plangebiets mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern, ausgehend von mehreren das Plangebiet überspannenden Hochspannungsfreileitungen sowie einer Erdkabeltrasse erstellt (Bericht Nr. F19/104-EMF v2.1 vom 12.08.2019).
- Als Ergebnis der Untersuchungen wurde ermittelt, dass die Grenzwerte der 26. BImSchV im gesamten Plangebiet sicher eingehalten werden. Ebenfalls kann eine Gefährdung von Trägern aktiver und passiver Implantate ausgeschlossen werden.

Die o. a. Ausführungen können in den Umweltbericht entsprechend § 2 a BauGB aufgenommen werden. Zusätzlich zu den o. a. Formulierungsvorschlägen ist darüber hinaus die hier vorliegende Untersuchung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH zur Immissionsbelastung des Plangebiets mit niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern (Bericht Nr. F19/104-EMF v2.1 vom 12.08.2019) in ihrer Gesamtheit als Bestandteil des Bebauungsplanes aufzunehmen.

## 12 Identifizierung möglicher Konfliktbereiche

Mit der Bebauung des Plangebiets werden zusätzliche Feldquellen hinzukommen, die unter Umständen maßgeblichen Einfluss auf die Immissionssituation der Anwohner haben können. Dies sind vor allem folgende Anlagen:

- S-Bahnstrecken im Plangebiet.
- Mittel- und Niederspannungs-Erdkabel zur Energieversorgung der Gebäude
- Netzstationen mit Transformatoren zur Energieversorgung der Gebäude
- Ladestationen für Elektrofahrzeuge
- Gewerbe- und Industriebetriebe mit großem Strombedarf
- Haushaltsgeräte mit hohen Feldemissionen (elektrische Heizungen, Kochherde, Haarfön, Bohrmaschinen, Ladegeräte, etc.)

## 13 Anhang

### 13.1 Berechnung der Unsicherheit nach DIN EN 50413

Programm: <b>EFC-400 LF Version 2019</b> Parameter: <b>magnetische Flussdichte</b>						
Komponente	Einflussfaktor	Quelle	festgelegte Unsicherheit	Verteilung	Divisionsfaktor	Standardunsicherheit
Software	Rundung, Softwarefehler, Segmentierung etc.	Herstellertifikat	0,00001%	Normal	2	0,00001%
Systemdaten	Abweichung tatsächlicher Lage der Leiter vom Plan	Schätzung	5,0%	Normal	2	2,5%
elektrische Betriebsdaten	kurzzeitige Stromschwankungen	Schätzung	2,0%	Normal	2	1,0%
Geodaten	Geländemodell, Gebäudedaten	Schätzung	1,0%	Normal	2	0,50%
Kombinierte Standardunsicherheit:						2,7%
Erweiterungsfaktor:						2
<b>erweiterte Standardunsicherheit:</b>						<b>5,5%</b>

Tab. 15: Erweiterte Standardunsicherheit des Berechnungsverfahrens für die magnetische Flussdichte.

Programm: <b>EFC-400 LF Version 2019</b> Parameter: <b>Elektrische Feldstärke</b>						
Komponente	Einflussfaktor	Quelle	festgelegte Unsicherheit	Verteilung	Divisionsfaktor	Standardunsicherheit
Software	Rundung, Softwarefehler, Segmentierung etc.	Herstellertifikat	0,0001%	Normal	2	0,00005%
Systemdaten	Abweichung tatsächlicher Lage der Leiter vom Plan	Schätzung	5,0%	Normal	2	2,5%
elektrische Betriebsdaten	Spannungsschwankungen	Schätzung	2,0%	Normal	2	0,8%
Geodaten	abweichende Leitfähigkeit vom Erdboden, Geländemodell, Gebäudedaten und Bewuchs	Schätzung	1,0%	Normal	2	2,5%
Kombinierte Standardunsicherheit:						3,6%
Erweiterungsfaktor:						2
<b>erweiterte Standardunsicherheit:</b>						<b>7,2%</b>

Tab. 16: Erweiterte Standardunsicherheit des Berechnungsverfahrens für die elektrische Feldstärke.

## 13.2 Literatur

- [7] 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](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/index.htm)
- [8] 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
- [9] Rehm W., Gritsch Th., Minimierung elektrischer und magnetischer Felder von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen nach dem Stand der Technik; Strahlenschutzpraxis 4/2015 S5ff.
- [10] 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
- [11] 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
- [12] DIN EN 50341 (DIN VDE 0210) Freileitungen über AC 45 kV in der gültigen Fassung
- [13] DIN EN 50182, IEC 61089 (Seile für Freileitungen) in der gültigen Fassung
- [14] DIN EN 61000-6-1 : 2007; Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Fachgrundnormen Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe
- [15] DIN EN 61000-6-2 : 2006; Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Fachgrundnormen Störfestigkeit für Industriebereich

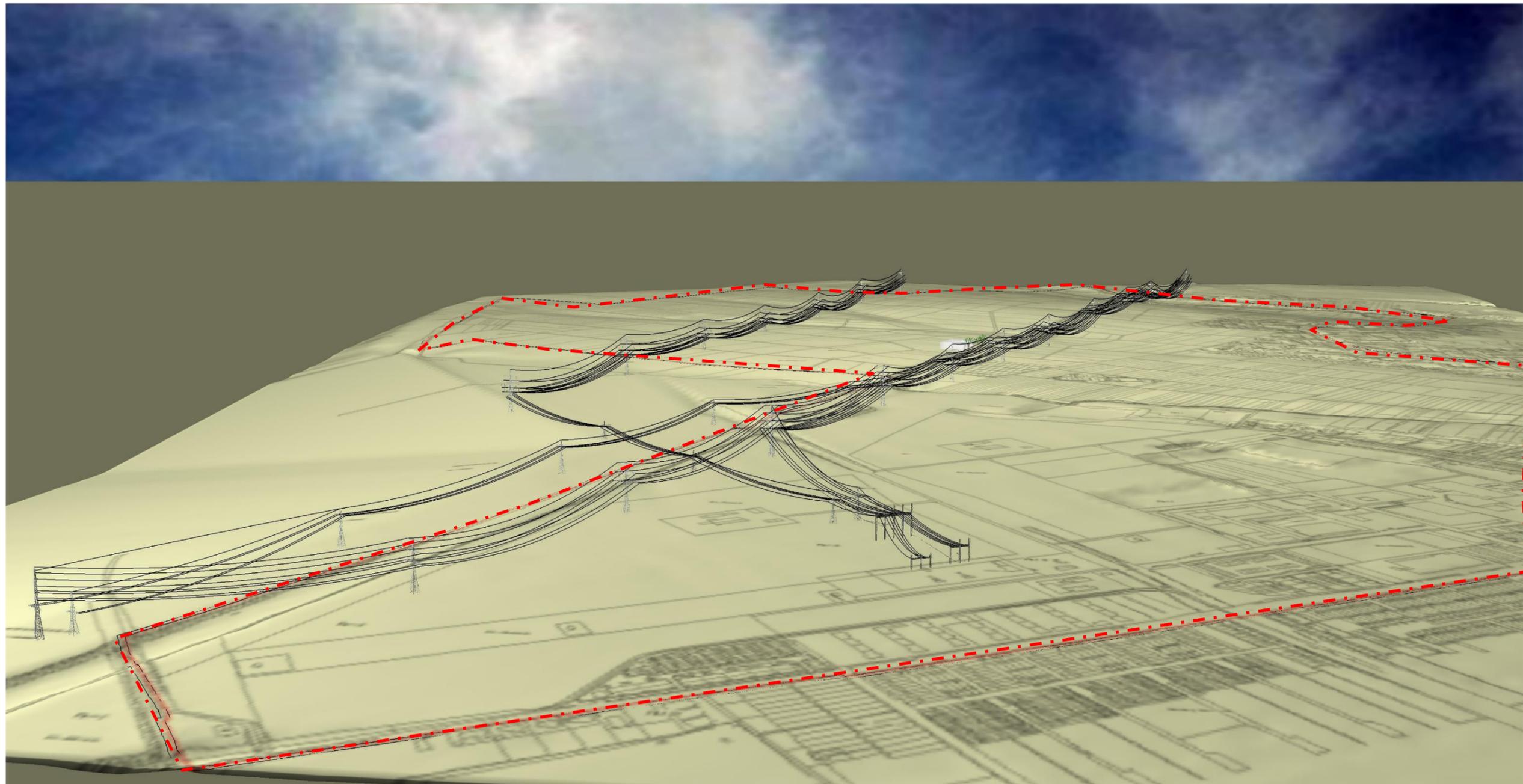
### 13.3 Glossar

A	Ampere (Maßeinheit elektrischer Strom)
AC	Abkürzung für engl. „alternating current“ in Deutsch Drehstrom oder Wechselstrom
AL	Aluminium
B	Symbol für magnetische Flussdichte.
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)
BBPlG	Bundesbedarfsplangesetz
BGBI.	Bundesgesetzblatt
Bündelleiter	Leiter, der aus mehreren Teilleitern besteht
E	Symbol für Elektrische Feldstärke.
EOK	Erdoberkante
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.
DC	Abkürzung von „direct current“ in Deutsch Gleichstrom
Drehstromsystem	ein aus drei gleich großen um 120° verschobenen Spannungen und Ströme gebildetes Wechselstromsystem
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
HGÜ	Hochspannungsgleichstromübertragung
Hybridleitung	Gemeinsame Führung von Drehstrom- und Gleichstromsystemen auf einer Leitungstrasse
Leiterseil	seilförmiger Leiter
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
Magnetfeld, magnetische Flussdichte	Dies ist ein Maß für das von einem Strom oder Permanentmagneten erzeugte Magnetfeld.
NABEG	Netzausbaubeschleunigungsgesetz
Querträger	seitlicher Ausleger (Traverse) an einem Mast zur Befestigung der Leiter
Spannung Mittelspannung Hochspannung Höchstspannung (kV)	Eine elektrische Spannung über 1.000 Volt (1 kV) wird laut VDE allgemein 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 380 kV betrieben. In der Energietechnik wird die Spannungsebenen von 3 kV bis 30 kV als Mittelspannung bezeichnet, der Spannungsbereich von 60 kV bis 110 kV als Hochspannung, ab 220 kV spricht man von Höchstspannung.
SOL	Projekt SüdOstLink
ST	Stahl



System, Stromsystem, Stromkreis	Ein Stromsystem besteht in der Drehstromtechnik bei einer Frequenz von 50 Hz jeweils aus drei elektrischen Leitern, die auch als Phasen bezeichnet werden. Diese haben die Aufgabe die elektrischen Betriebsströme zu führen. In der im vorliegenden Projekt verwendeten Gleichstromtechnik besteht ein Stromsystem hingegen aus zwei elektrischen Leitern, die auch als Pole bezeichnet werden und die ebenfalls die Aufgabe haben, die elektrischen Betriebsströme zu führen.
T	Tragmast, Freileitungsmast zur vertikalen Fixierung von Leitern (hängende Isolatoren)
Tesla, Mikrotesla ( $\mu\text{T}$ )	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 $\mu\text{T}$ .
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.
WA	Winkelabspannmast, Abspannmast bei Richtungsänderungen der Freileitung, nimmt Leiterzugkräfte in Richtung der Gesamtmittelkraft auf, zusätzlicher Fixpunkt in der Leitung
Winkelmast	nimmt resultierende Leiterzugkräfte in Winkelpunkten auf

### 13.4 Berechnungsergebnisse Gesamtgebiet



Legende	
- . - . -	Plangebiet Frankfurt Nordwest

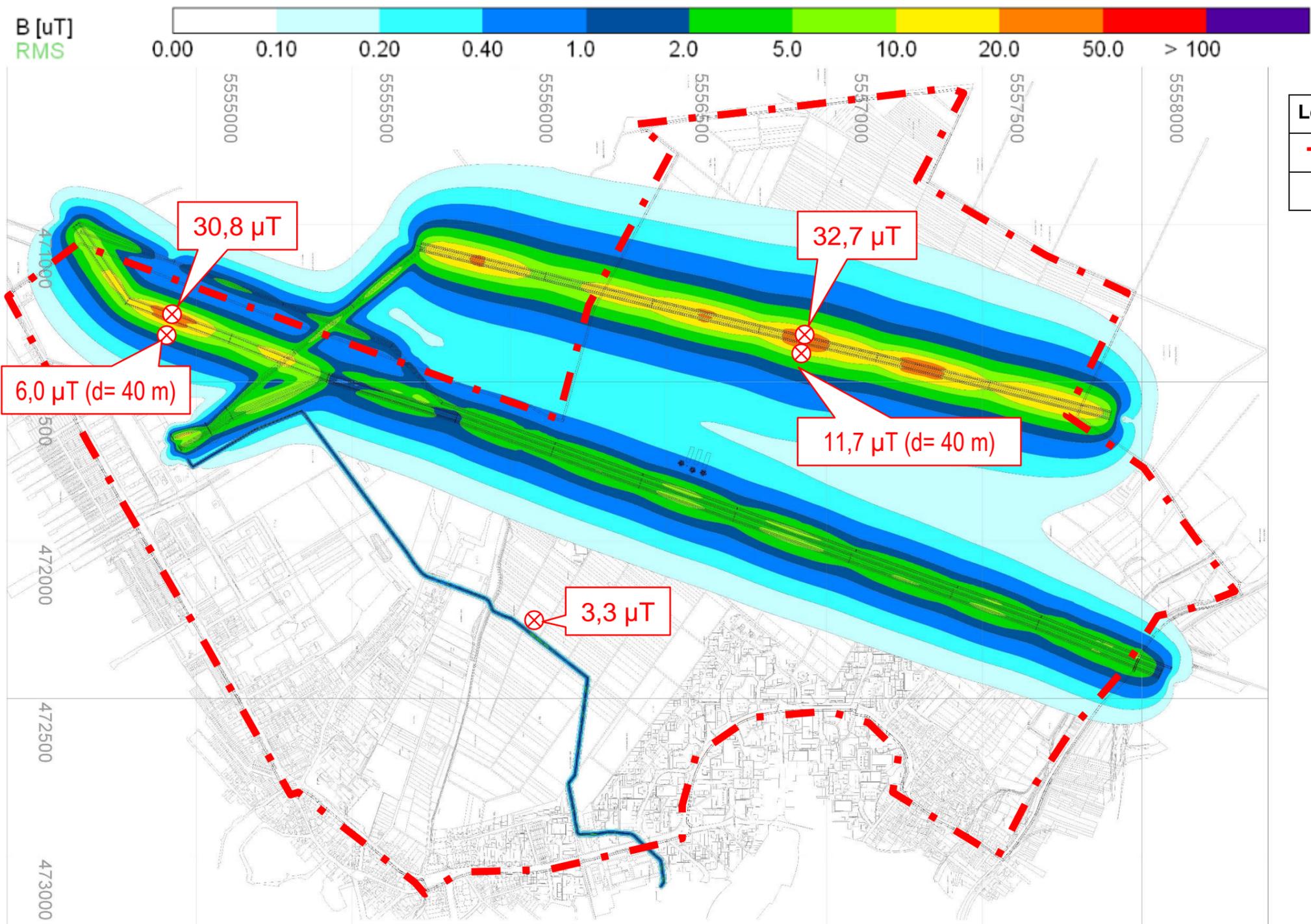
Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen im Plangebiet Frankfurt Nordwest

Abb. 23: 3D-Ansicht der Modellierung



Industrie Service

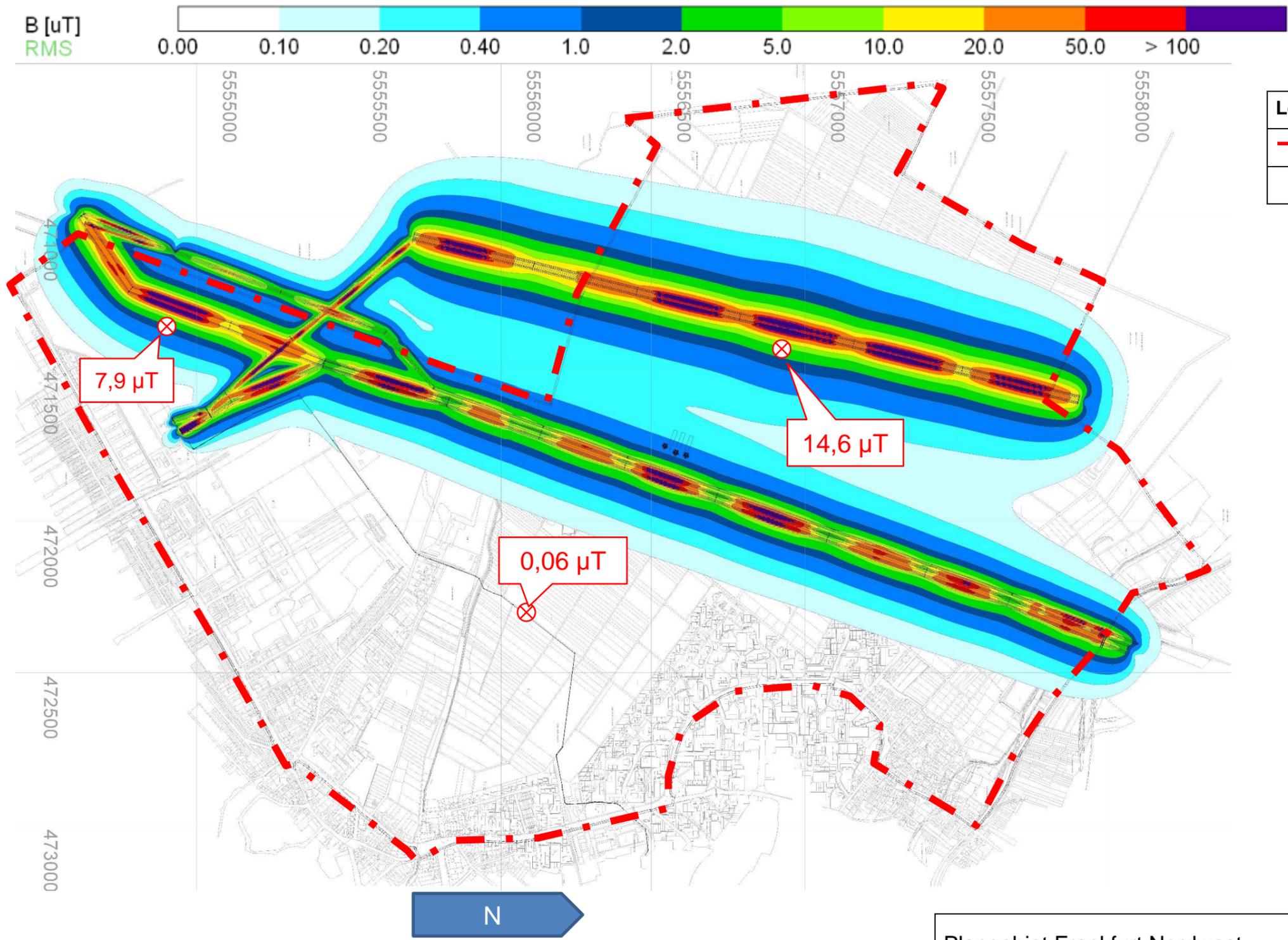
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 41 von 47 Plan
--------------------------	----------------------------------	-----------	------------------	----------------------



Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte

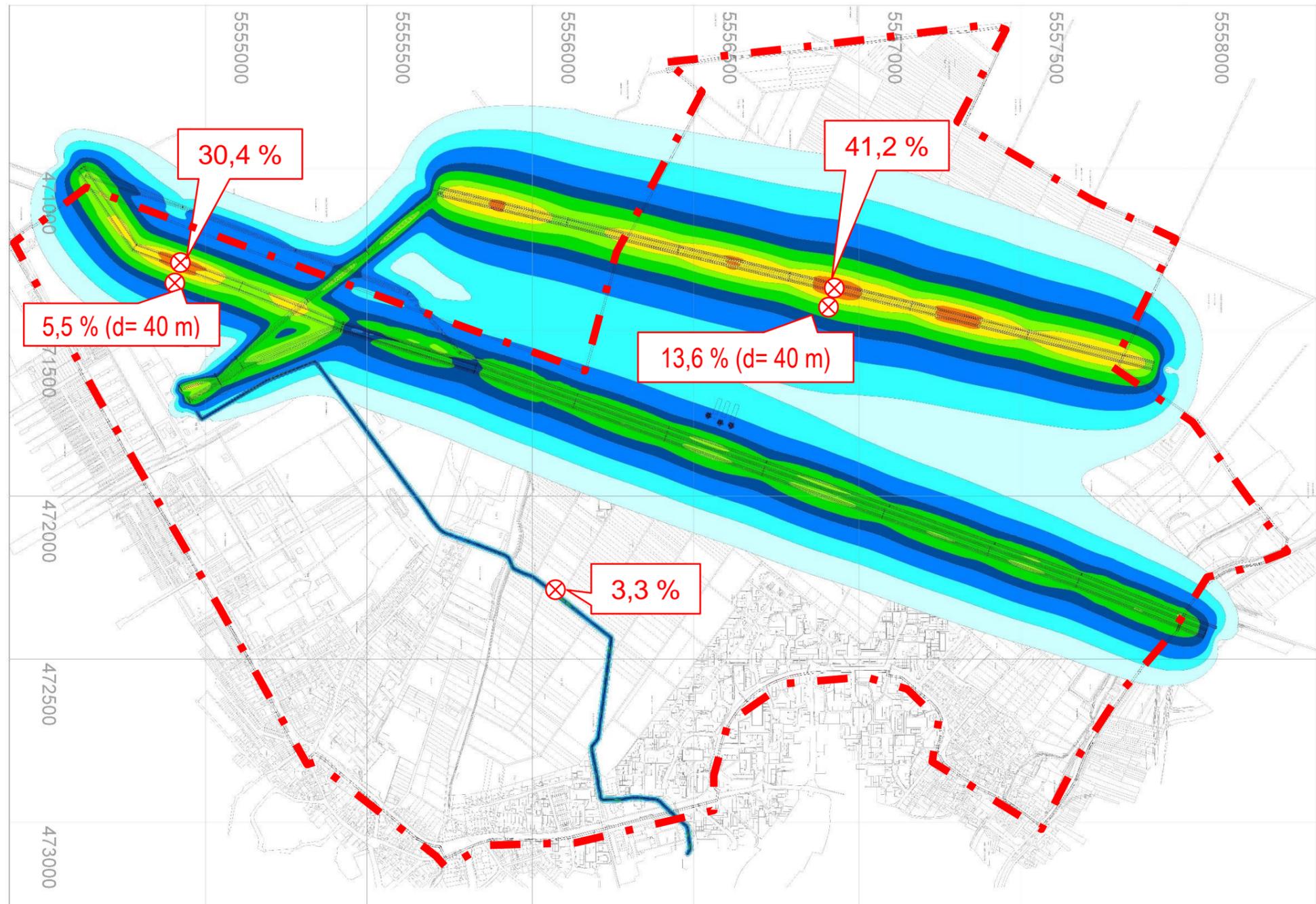
Plangebiet Frankfurt Nordwest				
Abb. 24: Horizontaler Schnitt der magnetischen Flussdichte in Mikrottesla [µT] in 1 m Höhe				
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 42 von 47 Plan





Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte

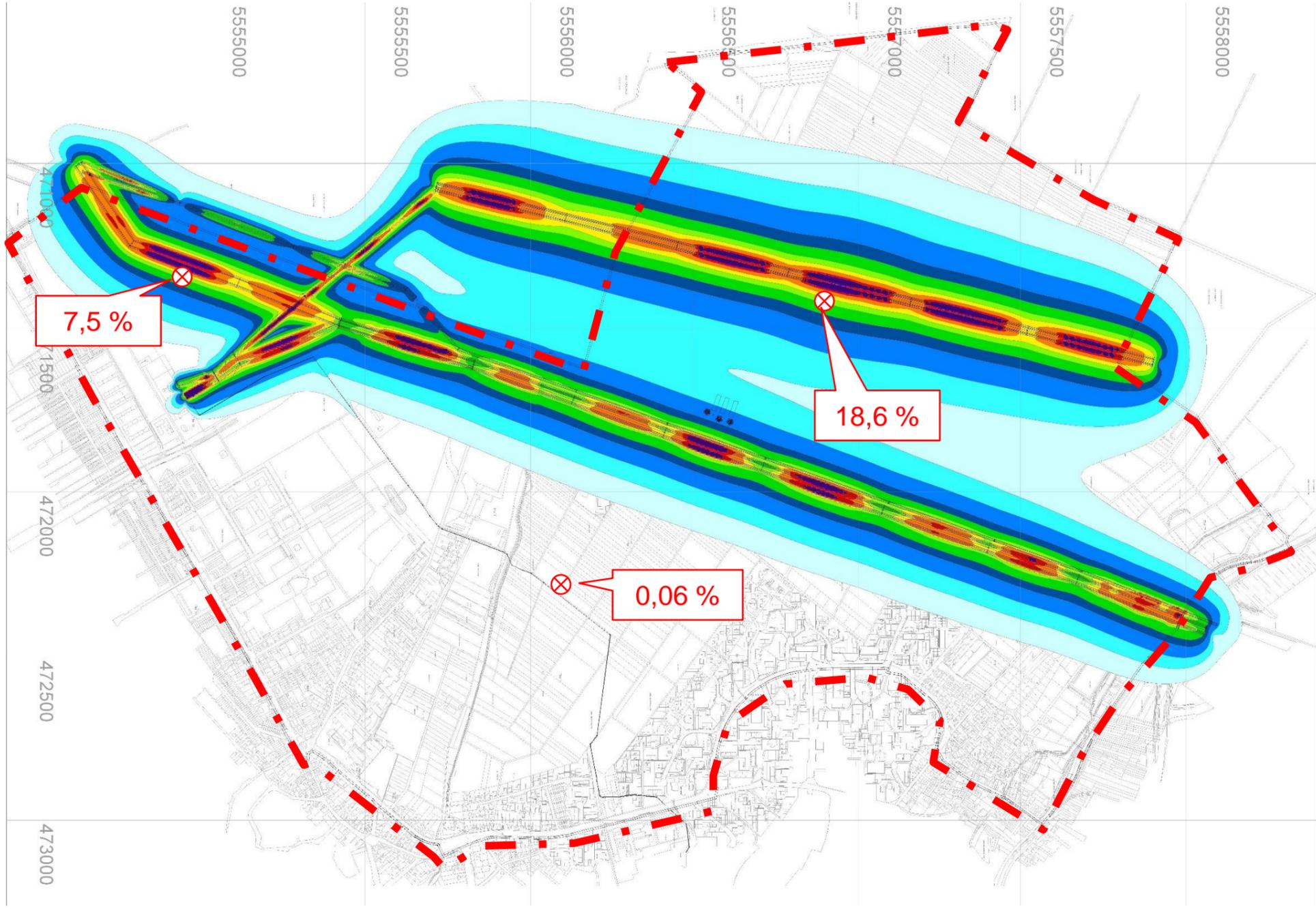
Plangebiet Frankfurt Nordwest				
Abb. 25: Horizontaler Schnitt der magnetischen Flussdichte in Mikrottesla [µT] in 15 m Höhe				
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 43 von 47 Plan



Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte



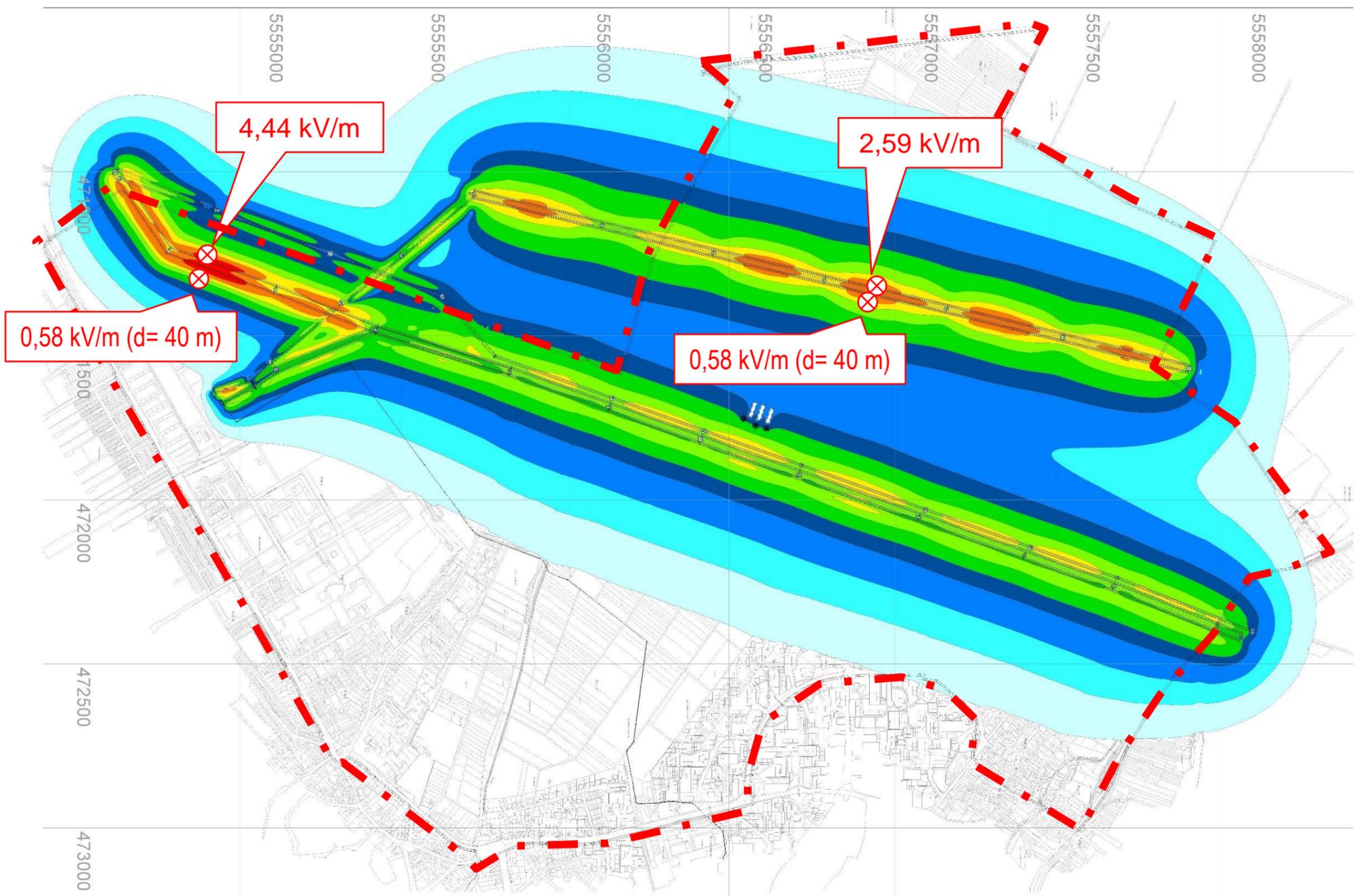
Plangebiet Frankfurt Nordwest				
Abb. 26: Horizontaler Schnitt der magnetischen Flussdichte in Prozent vom Grenzwert der 26. BImSchV in 1 m Höhe				
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 44 von 47 Plan



Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte



Plangebiet Frankfurt Nordwest				
Abb. 27: Horizontaler Schnitt der magnetischen Flussdichte in Prozent vom Grenzwert der 26. BImSchV in 15 m Höhe				
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 45 von 47 Plan

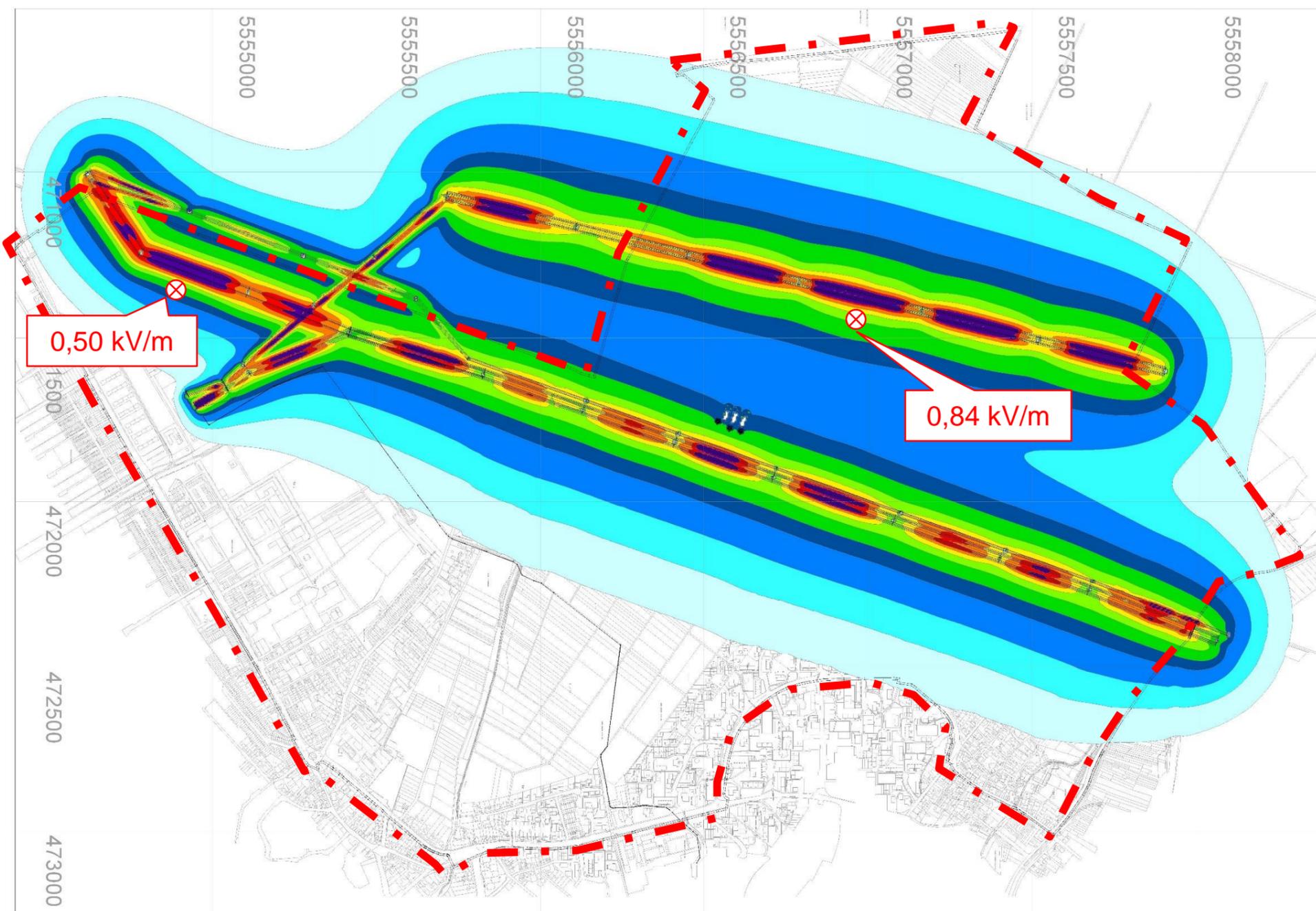


Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte



Plangebiet Frankfurt Nordwest				
Abb. 28: Horizontaler Schnitt der elektrischen Feldstärke E in kV/m in 1 m Höhe				
F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 46 von 47 Plan

E [kV/m]  
RMS



Legende	
	Plangebiet
	maximale Immissionswerte



Plangebiet Frankfurt Nordwest

Abb. 29:  
Horizontaler Schnitt der elektrischen Feldstärke E  
in kV/m in 15 m Höhe



Industrie Service

F19/104-EMF v2.1 Bericht	IS-USG-MUC/dr.gri Sachbearbeiter	- Maßstab	12.08.2019 Datum	Seite 47 von 47 Plan
-----------------------------	-------------------------------------	--------------	---------------------	-------------------------