

1. Deckblattänderung

Elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte der 380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West der TenneT TSO GmbH

Beeinflussung von Personen
durch Energieversorgungsanlagen

EMVU-Gutachten

Im Auftrag von Powerlines Energy Germany GmbH, Engelberg 22, 88480
Achstetten

Vorhabenträgerin ist die TenneT TSO GmbH, Bernecker Straße 70, 95448
Bayreuth

Anzahl der Seiten
einschließlich
Titelseite: 34

A-00497b / 2023

Konstruktion und Prüfung

Dr. rer. nat. Olaf Plotzke
unabhängiger Sachverständiger für
„Elektromagnetische Umweltverträglichkeit - EMVU“

Forschungsgesellschaft
für Energie
und Umwelttechnologie GmbH
10965 Berlin, Tel 786 97 99, Fax 786 63 89

Berlin - 26.03.2025

Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH

Berlin [2025](#), (C) Copyright FGEU mbH.

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung oder Reproduktion unter Verwendung elektronischer Systeme, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der FGEU mbH.

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	4
2. Parameter der Freileitung	7
4. Auswertung.....	13
4.1 Gewährleistung des Schutzes der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umweltauswirkungen (26. BlmSchV)	13
4.2 Überspannungsverbot.....	14
4.3 Funkenentladungen	15
4.4 Minimierungsvorschrift gemäß § 4 der 26. BlmSchV	15
5. Gutachterliche Stellungnahme.....	18
6. Literatur	19
7. Anhang	19

1. Einleitung

Untersuchungsgegenstand ist die mögliche Beeinträchtigung von Personen (EMVU - elektromagnetische Umweltverträglichkeit) durch die 380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West der TenneT TSO GmbH. Die Analyse erfolgte im Auftrag der Powerlines Energy Germany GmbH, Engelberg 22, 88480 Achstetten.

Für den Personenschutz an Energieanlagen einer Betriebsfrequenz von 50 Hz und einer Betriebsspannung größer als 1000 V ist seit dem 22.8.2013 die 26. Verordnung zum BImSchG [26. BImSchV], mit den „effektiv anzuwendenden“ Grenzwerten von 100 μ T und 5 kV/m auf Einhaltung zu überprüfen.

Die Nummerierung der Immissionsorte (IO) entspricht jener in der gutachterlichen Bewertung A-00497a / 2023, welche die Minimierungsprüfung gemäß 26. BImSchVVwV behandelt.

In Abschnitt II.3.1 der Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder [LAI DFH 14] wird ausgeführt, dass maßgebliche Immissionsorte im Sinne des § 3 der 26. BImSchV solche Orte sind, welche zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind und sich in einem definierten Bereich um eine Anlage herum befinden. Die Größe dieses Bereiches ist vom Typ, der Frequenz und der Spannungsebene der Anlage abhängig. Für 380-kV-Freileitungen ist die Breite des jeweils an die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters angrenzenden Streifens mit 20 m festgelegt.

In der Umgebung der 380-kV-Freileitung gibt es mehrere Gebäude und Grundstücke, welche zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. In der Umgebung der Spannfelder M003 - M004, M014 - M015 - M016, M024 - M025 - M026 und M052 - M053 gibt es jeweils maßgebliche Immissionsorte, weil sich die Immissionsorte dort in einem Abstand von weniger als 20 m zu den ruhenden äußeren Leiterseilen befinden.

Alle anderen Immissionsorte sind weiter als 20 m von den ruhenden äußeren Leiterseilen entfernt, sodass keine weiteren maßgeblichen Immissionsorte

vorliegen. Nachfolgend sind die betrachteten Immissionsorte in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Abstandswerte beziehen sich auf den horizontalen Abstand zwischen dem ruhenden äußeren Leiterseil und dem Grundstück bzw. dem Gebäude. Befinden sich auf einem Grundstück mehrere Gebäude, bezieht sich die Abstandsangabe immer auf jenes Gebäude, welches dem ruhenden äußeren Leiterseil am nächsten liegt und gleichzeitig zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. In der Tabelle sind Abstandswerte dann nicht fettgedruckt, wenn es sich bei dem entsprechenden Grundstück / Gebäude um einen Ort handelt, der nur zum vorübergehenden Aufenthalt bestimmt ist.

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten Immissionsorte

IO	Spannfeld	Abstand Grundstück [m]	Abstand Gebäude [m]	Adresse	Gemarkung, Flur, Flurstück
07	M003 - M004	0	185	Dorfstraße, 26215 Wiefelstede	Wiefelstede, 44, 97
24	M014 - M015	0	51	Dringenburger Straße 250, 26180 Rastede	Rastede, 1, 200/46
25	M015 - M016	1	52	Dringenburger Straße 277A, 26180 Rastede	Rastede, 1, 40/25
39	M024 - M025	3 ^{*)}	5	Poppenburg 5, 26180 Rastede	Rastede, 6, 654/128
40	M025 - M026	3 ^{*)}	31	Poppenburg 5, 26180 Rastede	Rastede, 6, 654/128
42	M025 - M026	6	20	Poppenburg 9, 26180 Rastede	Rastede, 6, 131/2
76	M052 - M053	15	36	Moorseiter Straße 61, 26939 Ovelgönne	Großenmeer, 7, 334/169

^{*)} Das Grundstück wird aufgrund des Wohngebäudes (IO 40) vorsorglich als Ort zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt behandelt.

Die Höhe der betrachteten Gebäude wurde aus den Gebäudedaten (LoD2), welche einen Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (©LGLN, 2023, [dl-de/by-2-0](#)) darstellen, entnommen.

Um die Immissionen sicher nach oben hin abzuschätzen, werden die Höhen der Gebäude auf volle Meter aufgerundet. Die Gebäudehöhen sind somit 4 m (IO 07), 7 m (IO 24), 5 m (IO 25), 3 m (IO 39), 9 m (IO 40), 6 m (IO 42) und 10 m (IO 76).

Viele der Einflussgrößen, wie Stromstärke, Spannung und Beseilung, welche die Höhe der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke bestimmen, sind für die gesamte Trasse der Freileitung Conneforde - Elsfleth/West identisch.

Magnetische und elektrische Felder klingen mit zunehmender Entfernung zur Quelle näherungsweise quadratisch ab. Das Geländeprofil muss bei der Berechnung ebenfalls berücksichtigt werden und hat einen Einfluss auf die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke. Der grundlegende Verlauf der Feldausbreitung ändert sich dadurch allerdings nicht und der Abstand zur Feldquelle bleibt der dominierende Einflussfaktor.

Werden die Grenzwerte an den maßgeblichen Immissionsorten eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass diese aufgrund des größeren Abstandes anderer Immissionsorte zu den ruhenden äußeren Leiterseilen „erst recht“ für alle anderen Immissionsorte auch eingehalten werden, weshalb die Begutachtung der maßgeblichen Immissionsorte zum Nachweis der Grenzwerteinhaltung im gesamten Trassenverlauf ausreichend ist.

2. Parameter der Freileitung

Die Parameter der Freileitung wurden aus den Unterlagen der TenneT TSO GmbH und der Powerlines Energy Germany GmbH (Trassenplan, Mastbild etc.) entnommen:

Die TenneT TSO GmbH plant, die vorhandene 220-kV-Freileitung zwischen dem Umspannwerk Conneforde und der Schaltanlage Elsfleth/West durch eine leistungsfähigere 380-kV-Freileitung mit 4000 Ampere Stromtragfähigkeit zu ersetzen. Die Bestandsleitung wird daher nicht weiter betrachtet.

Im Bereich der Masten 23 bis 36 ist dabei die Mitnahme der 110-kV-Freileitung Berne - Conneforde geplant und berücksichtigt.

Die Phasenbelegung ist aktuell noch nicht bekannt. Um die Immissionen dennoch zur sicheren Seite hin berechnen zu können, wurde der jeweilige worst-case der Phasenlage ermittelt und zu Grunde gelegt.

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West:

max. Stromfluss	2 x 4000 A (höchste betriebliche Anlagenauslastung)
Nennspannung	380-kV (gerechnet mit 420-kV)
Spannfelder	alle Spannfelder zwischen UW Conneforde und SA Elsfleth/West
Phasenbelegung	UW Conneforde bis SA Elsfleth/West: 123 123 bzw. 123 312 (worst-case magnetische Flussdichte)
Leiterseil	2 x 3 x 4 x 565-AL1/72-ST1A

380-kV-Freileitung Unterweser - Conneforde:

max. Stromfluss	2 x 3900 A (höchste betriebliche Anlagenauslastung)
Nennspannung	380-kV (gerechnet mit 420-kV)
Spannfelder	6 Spannfelder Mast 77N und UW Conneforde/Ost
Phasenbelegung	M77N bis M82A: 123 123

	M82A bis UW Conneforde: 321 321
Leiterseil	2 x 3 x 4 x 565-AL1/72-ST1A

110-kV-Freileitung Berne - Conneforde (als Mitnahme zwischen Mast 36 und Mast 23 der 380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West):

max. Stromfluss	2 x 2100 A (höchste betriebliche Anlagenauslastung)
Nennspannung	110-kV (gerechnet mit 123-kV)
Phasenbelegung	321 123
Spannfelder	17 Spannfelder zwischen Mast 36 und Mast 99
Leiterseil	2 x 3 x 2 x 565-AL1/72-ST1A

Die Positionen und Abmessungen sowie der Verlauf der Freileitung über den Grundstücken stammen aus den Unterlagen der TenneT TSO GmbH und der Powerlines Energy Germany GmbH.

Die technischen Details sind den Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren der TenneT TSO GmbH zu entnehmen bzw. können diese bei der Vorhabenträgerin angefragt werden.

Die digitalen Orthophotos, die Gebäudedaten (LoD2) sowie die Datengrundlage zur Erstellung des digitalen Geländemodells sind ein Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (©LGLN, 2023, [dl-de/by-2-0](https://www.lgl.niedersachsen.de/de/2023/01/01/dl-de-by-2-0)).

3. Berechnung der Feldstärken

Die Berechnung der Feldstärken erfolgte auf der Grundlage der Trassenpläne der TenneT TSO GmbH und der Powerlines Energy Germany GmbH mittels der Software "WinField Release 2024" der FGEU mbH entsprechend DIN EN 50413. Als Stromfluss wurde eine maximale Auslastung aller Freileitungen und eine Betriebsspannung in Höhe von 420 kV (bei 380 kV Nennspannung) bzw. 123 kV (bei 110 kV Nennspannung) angesetzt. Die möglichen Fehler betragen:

Position:	+/- 1 m
Feldstärke:	5% (gültig für die ungestörten Feldstärken; bei der Berücksichtigung von Gebäuden kann der Fehler der elektrischen Feldstärke wesentlich größer sein. Die Feldstärken im Aufenthaltsbereich von Personen werden jedoch über- und nicht unterschätzt.)

Berechnet wurden jeweils die magnetische Flussdichte B [μT] und die elektrische Feldstärke E [kV/m] bei einer Frequenz von 50 Hz in 1 m Höhe über dem Erdboden für die Grundstücke (Tabelle 2) sowie die magnetische Flussdichte in Gebäuden (Tabelle 3), welche jeweils einen Immissionsort darstellen. Da die Außenwände der Gebäude das elektrische Feld abschirmen und keine Balkone oder Dachterrassen vorliegen, wird das elektrische Feld nicht auf mehreren Höhen berechnet. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt. Die maximalen Werte betragen:

Tabelle 2: magnetische Flussdichte und elektrische Feldstärke in 1 m Höhe

Maximalwert in 1 m Höhe	magnetische Flussdichte	elektrische Feldstärke
Grundstück IO 07	40.2 μT	4.3 kV/m
Grundstück IO 24	35.8 μT	3.0 kV/m
Grundstück IO 25	28.3 μT	2.9 kV/m
Grundstück IO 39	7.0 μT	0.26 kV/m
Grundstück IO 40	7.0 μT	0.26 kV/m
Grundstück IO 42	19.7 μT	1.3 kV/m

Maximalwert in 1 m Höhe	magnetische Flussdichte	elektrische Feldstärke
Grundstück IO 76	6.9 μT	0.57 kV/m

An den umliegenden zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt bestimmten Gebäuden wurden die Maximalwerte der magnetischen Flussdichte auf 1 m Höhe und maximaler Gebäudehöhe ermittelt. Als Immissionsort wurde dabei immer die Gebäudeseite gewählt, an welcher die höchste magnetische Flussdichte auftritt.

Tabelle 3: magnetische Flussdichte an den betrachteten Gebäuden auf verschiedenen Höhen

<div> <div>Höhe</div> <div>Maximalwert magnetische Flussdichte [μT]</div> </div>	1 m	maximale Gebäudehöhe
Gebäude IO 07 Gemarkung Wiefelstede, Flur 44, Flurstück 97 M003 - M004	0.29	0.29
Gebäude IO 24 Gemarkung Rastede, Flur 1, Flurstück 200/46 M014 - M015	2.5	2.6
Gebäude IO 25 Gemarkung Rastede, Flur 1, Flurstück 40/25 M015 - M016	2.2	2.3
Gebäude IO 39 Gemarkung Rastede, Flur 6, Flurstück 654/128 M024 - M025	6.8	7.2
Gebäude IO 40 Gemarkung Rastede, Flur 6, Flurstück 654/128 M025 - M026	4.9	5.6
Gebäude IO 42 Gemarkung Rastede, Flur 6, Flurstück 131/2 M025 - M026	9.0	10.6
Gebäude IO 76 Gemarkung Großenmeer, Flur 7, Flurstück 334/169 M052 - M053	4.6	5.3

Es sind folgende Besonderheiten zu beachten:

- Die elektrische Feldstärke ist weitgehend unabhängig von der Übertragungsleistung. Bei geringerer Leistung sinkt die Leitertemperatur, wodurch die Zugspannung der Leiterseile steigt und der Durchhang geringer wird. Die Folge ist eine etwas geringere Bodenfeldstärke.

- Der Einfluss der Vegetation auf den Grundstücken wurde nicht berücksichtigt. In der Praxis wird die elektrische Feldstärke hierdurch erheblich reduziert. Im günstigsten Fall bis fast auf null - direkt unter Bäumen ist die Feldstärke praktisch null.
- Die elektrische Feldstärke innerhalb von Gebäuden ist vernachlässigbar, da die Außenwände das elektrische Feld abschirmen. In den Berechnungen eventuell sichtbare Anteile innerhalb von Gebäuden sind auf die Modellnachbildung sowie die Position des Vertikalschnittes zurückzuführen.
- Die magnetische Flussdichte ist proportional zum Stromfluss. Bei geringerer Auslastung ist diese linear zu reduzieren.
- Die magnetische Flussdichte durchdringt Gebäude ungestört und ist praktisch nicht abschirmbar.
- Das Auftreten anderer Frequenzen als 50 Hz ist vernachlässigbar. Dies trifft auch auf Oberwellenanteile zu.
- Anhaltspunkte für eine weitere Vorbelastung als durch die berücksichtigten Feldquellen (siehe Kapitel 2. Parameter der Freileitung), liegen nicht vor. Dies trifft auch auf Hochfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 9 Kilohertz bis 10 Megahertz zu, welche bis zu einem Abstand von 300 Metern relevant zur Vorbelastung beitragen können. Die nächstgelegene Hochfrequenzanlage mit entsprechendem Frequenzbereich ist mehrere Kilometer von der geplanten Freileitung entfernt (Information abgerufen am 15.12.2023 über die EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur).

4. Auswertung

4.1 Gewährleistung des Schutzes der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umweltauswirkungen (26. BImSchV)

Die maximal im Aufenthaltsbereich von Personen zu erwartenden Feldstärken sind im Folgenden den Grenzwerten zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umweltauswirkungen gegenübergestellt.

Im Jahr 2010 wurden von der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) überarbeitete Richtwertempfehlungen für die Allgemeinbevölkerung erlassen [ICNIRP 10]. Seit dem 22.08.2013 ist die Novellierung der 26. Verordnung zum BImSchG [26. BImSchV] gesetzlich bindend, welche auf den überarbeiteten ICNIRP Empfehlungen basiert und Grenzwerte für die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke definiert. Diese Grenzwerte, die bereits den Vorsorgeaspekt berücksichtigen, sind für 50-Hz-Felder seitdem mit 200 μT und 5 kV/m festgelegt. Für die magnetische Flussdichte gilt allerdings, dass auch die Hälfte des Grenzwertes nicht überschritten werden darf. Die „effektiv anzuwendenden“ Grenzwerte der novellierten 26. BImSchV sind für 50 Hz somit 100 μT und 5 kV/m. In der nachfolgenden Tabelle sind die maximal im Aufenthaltsbereich von Personen zu erwartenden Feldstärken den „effektiv anzuwendenden“ Grenzwerten der novellierten 26. BImSchV gegenübergestellt.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Maximalwerte mit den 26. BImSchV-Grenzwerten

	max. berechnete Feldstärken (Effektivwerte)	26. BImSchV „effektiv anzuwendende“ Grenzwerte (Effektivwerte)
B [μT]	40.2	100
E [kV/m]	4.3	5

(Anmerkung: Geltungsbereich der Grenzwerte ist 50 Hz)

Die „effektiv anzuwendenden“ Grenzwerte der 26. BImSchV werden unterschritten. Aus Sicht des Schutzes der Allgemeinheit und der Nachbarschaft sind insofern keine Maßnahmen erforderlich. Eine Beeinträchtigung für Menschen ist nach heutigem Stand des Wissens auszuschließen.

In Gebäuden ist die elektrische Feldstärke praktisch null. Die berechnete magnetische Flussdichte innerhalb von Gebäuden sinkt auf 1 m Höhe über dem Erdboden unter $9.0 \mu\text{T}$. Felder dieser Größenordnung können durchaus auch in Bürogebäuden oder Wohnungen angetroffen werden, die nicht im Einzugsbereich von Freileitungen liegen. Insbesondere sind die Feldstärken in Industriebetrieben oder in der Umgebung von Elektrogeräten häufig erheblich höher.

4.2 Überspannungsverbot

In § 4 Absatz 3 der 26. BImSchV ist festgelegt, dass 380-kV-Freileitungen mit einer Frequenz von 50 Hertz, die in einer neuen Trasse errichtet werden, Gebäude oder Gebäudeteile, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, nicht überspannen dürfen. Dieses Überspannungsverbot gilt somit grundsätzlich für die geplante 380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West. Überspannungen von Gebäuden oder Gebäudeteilen, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, sind nur zulässig, wenn die 380-kV-Freileitung in einer bestehenden Trasse errichtet wird.

Das Überspannungsverbot gemäß 26. BImSchV bezieht sich auf die „ungünstigste Position“ der Leiterseile. Daher ist zu prüfen, ob ein Gebäude oder Gebäudeteil von einem Leiterseil überspannt wird, wenn sich dieses bei höchster betrieblicher Auslastung und höchster Außentemperatur im ausgeschwungenen Zustand befindet.

Bei dem südlichen Gebäude auf dem Grundstück des maßgeblichen Immissionsorten 39 handelt es sich um ein Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe (anscheinend ein Schuppen), welche nicht zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist.

Das nächstliegende Gebäude, welches zum dauerhaften Aufenthalt bestimmt ist, befindet sich beim Immissionsort 42 (Gemarkung Rastede, Flur 6, Flurstück

131/2) in einem Abstand von 30 m zum ruhenden äußeren Leiterseil. Eine Überspannung ist hier in jedem Fall auszuschließen, sodass das Überspannungsverbot eingehalten wird.

4.3 Funkenentladungen

Gemäß § 3 Absatz 4 der 26. BImSchV sind Wirkungen wie Funkenentladungen zwischen Personen und leitfähigen Objekten zu vermeiden, wenn sie zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können. In den LAI-Hinweisen [LAI DFH 14] wird in Abschnitt II.3.6 ein Wert von 8 kV/m genannt, ab dem ein schmerzhafter elektrischer Schlag auftreten kann.

Die maximal an maßgeblichen Immissionsorten ermittelte elektrische Feldstärke liegt mit 4.3 kV/m deutlich unterhalb dieses Schwellenwertes. Auch direkt unterhalb der Freileitung wird der Wert von 8 kV/m nicht überschritten. Anhaltspunkte für das Auftreten erheblicher Belästigungen oder Schäden durch Wirkungen wie Funkenentladungen liegen daher nicht vor.

4.4 Minimierungsvorschrift gemäß § 4 der 26. BImSchV

Gemäß 26. BImSchV sind bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren. Diese Minimierungsvorschrift wurde für die geplante Freileitung berücksichtigt.

Geprüft wurden dabei alle Maßnahmen, welche für Drehstromfreileitungen mit 50 Hertz Frequenz vorgesehen sind. Diese sind in Abschnitt 5.3.1 der 26. BImSchVVwV [26. BImSchVVwV] zusammengefasst und umfassen:

- a) „Masttyp“: Optimierung der Mastkopfgeometrie (5.3.1.4)
- b) Minimierung der Seilabstände (5.3.1.3)
- c) Elektrische Schirmung (5.3.1.2)
- d) „Phasenoptimierung“: Optimieren der Leiteranordnung (5.3.1.5)
- e) Abstandsoptimierung - Erhöhung des Bodenabstandes (5.3.1.1)
- f) Abstandsoptimierung - Verringerung der Spannfeldlänge (5.3.1.1)

g) Abstandsoptimierung - Versetzen eines Systems (5.3.1.1)

Die Ergebnisse der Prüfung sind in Tabelle 5 zusammengefasst:

Tabelle 5: Ergebnisse der Minimierungsprüfung gemäß 26. BImSchVVwV

Maßnahme	Prüfungsergebnis
a) „Masttyp“: Optimierung der Mastkopfgeometrie (5.3.1.4)	Die Maßnahme kommt nicht in Betracht, weil sie an mindestens einem maßgeblichen Minimierungsort zu einer Erhöhung der magnetischen Flussdichte führen würde.
b) Minimierung der Seilabstände (5.3.1.3)	Die Maßnahme kommt nicht in Betracht, weil die technische Machbarkeit nicht gegeben ist.
c) Elektrische Schirmung (5.3.1.2)	Die Maßnahme kommt nicht in Betracht, weil sie an mindestens einem maßgeblichen Minimierungsort zu einer Erhöhung der magnetischen Flussdichte und/oder der elektrischen Feldstärke führen würde.
d) „Phasenoptimierung“: Optimieren der Leiteranordnung (5.3.1.5)	Die Maßnahme kommt für die Gesamttrasse nicht in Betracht, da es aus technischen Gründen notwendig ist, gleiche Kapazitätsbeläge auf allen drei Leiterbündeln eines Systems zu erhalten. Die Anwendung der Maßnahme in einem Abschnitt ist nach Ermittlung der technisch optimalen Phasenordnung zu prüfen.
e) Abstandsoptimierung - Erhöhung des Bodenabstandes (5.3.1.1)	Die Maßnahme kommt für einen Teil der Minimierungsorte nicht in Betracht, weil sie an mindestens einem maßgeblichen Minimierungsort zu einer Erhöhung der magnetischen Flussdichte bzw. der elektrischen Feldstärke führt. Für die anderen Minimierungsorte ist die Reduktion der magnetischen Flussdichte so geringfügig, dass der Aufwand zur Umsetzung der Maßnahme unverhältnismäßig wäre.

Maßnahme	Prüfungsergebnis
f) Abstandsoptimierung - Verringerung der Spannfeldlänge (5.3.1.1)	Die Reduktion der magnetischen Flussdichte so geringfügig, dass der Aufwand zur Umsetzung der Maßnahme unverhältnismäßig wäre.
g) Abstandsoptimierung - Versetzen eines Systems (5.3.1.1)	<p>Die Maßnahme kommt für einen Teil der Minimierungsorte nicht in Betracht, weil sie an mindestens einem maßgeblichen Minimierungsort zu einer Erhöhung der magnetischen Flussdichte führt (bei beidseitig der Trassenachse gelegenen maßgeblichen Minimierungsorten).</p> <p>Grundsätzlich ist die Reduktion der magnetischen Flussdichte für maßgebliche Minimierungsorte außerhalb des Bewertungsabstandes relativ gering, sodass der hohe Aufwand zur Umsetzung der Maßnahme unverhältnismäßig wäre.</p>

Festlegung der Minimierungsmaßnahmen

Nach Prüfung der potentiellen Minimierungsmaßnahmen ergibt sich die Optimierung der Phasenordnung als Maßnahme zur Minimierung der Feldstärken, welche bei der weiteren Planung zu berücksichtigen ist (siehe b) „Phasenoptimierung“: Optimieren der Leiteranordnung (5.3.1.5)).

Daneben ergeben sich gegenüber dem Planungsstand keine Maßnahmen zur Minimierung der Feldstärken, welche technisch machbar, zulässig und verhältnismäßig erscheinen. Alle weiteren Maßnahmen, die alle drei Kriterien erfüllen, wurden vom Betreiber bereits in der Planungsphase berücksichtigt und haben Eingang in die Planung gefunden.

5. Gutachterliche Stellungnahme

Wie im Kapitel "4. Auswertung" ausführlich dargelegt wurde, sind aus der Sicht des Schutzes der Allgemeinheit und der Nachbarschaft entsprechend 26. BImSchV keine Maßnahmen erforderlich. Dem geplanten Leitungsbauvorhaben ist deshalb hinsichtlich der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit ausdrücklich Zustimmung zu erteilen. Eine Beeinträchtigung für Menschen ist nach heutigem Stand des Wissens auszuschließen.

6. Literatur

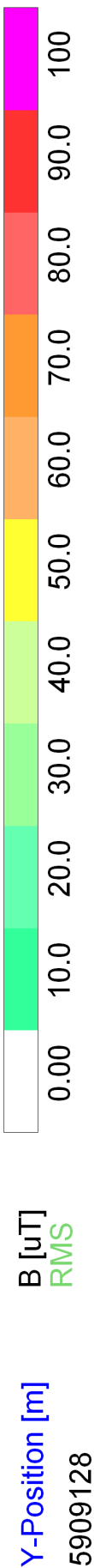
- [ICNIRP 10] **ICNIRP Guidelines, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).** Health Physics, V99 No. 6, (Dezember 2010).
- [26. BImSchV] **Verordnung über elektromagnetische Felder** in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266).
- [26. BImSchVVwV] **Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV** vom 26. Februar 2016
- [LAI DFH 14] **Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder**, in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) am 17. und 18. September 2014 in Landshut

7. Anhang

Magnetische Flussdichte und elektrische Feldstärke in Horizontalschnitten über dem Erdboden

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M003 - M004; mit Vorbelastungen



5908844

437704

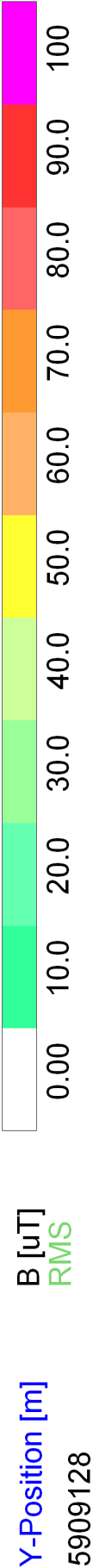
X-Position [m]

438237

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 4 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M003 - M004; mit Vorbelastungen



5908844
437704

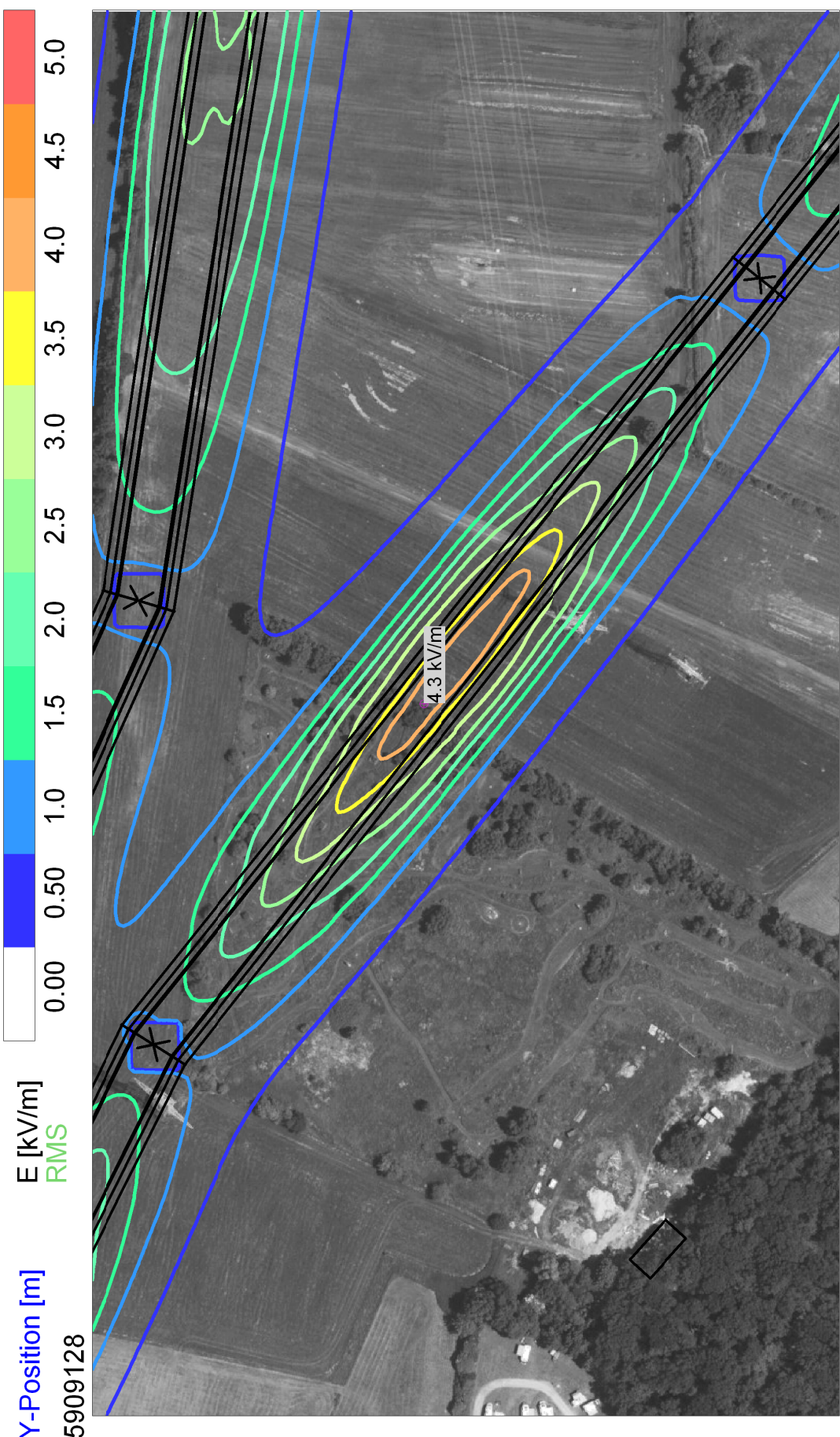
X-Position [m]

438237

Z [m] = 4.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: el. Feldstärke 1 m ü. Boden

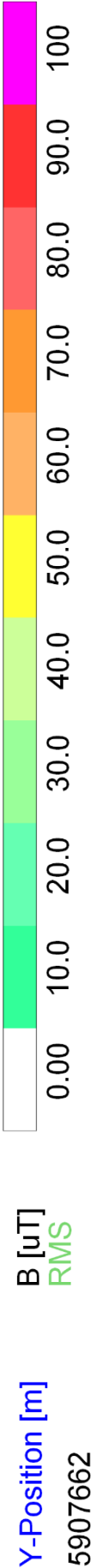
Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M003 - M004; mit Vorbelastungen



5908844
437704

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M014 - M015 - M016; mit Vorbelastungen



5907370
441416

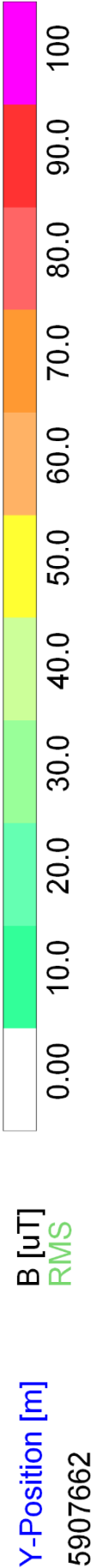
X-Position [m]

441964

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 5 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M014 - M015 - M016; mit Vorbelastungen



5907370
441416

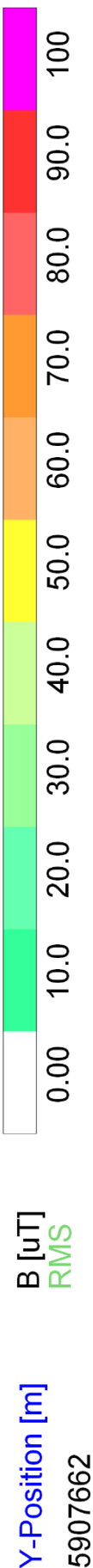
X-Position [m]

441964

Z [m] = 5.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 7 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M014 - M015 - M016; mit Vorbelastungen



5907370
441416

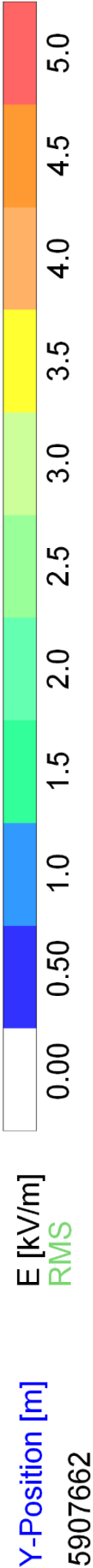
X-Position [m]

441964

Z [m] = 7.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: el. Feldstärke 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M014 - M015 - M016; mit Vorbelastungen



5907370
441416

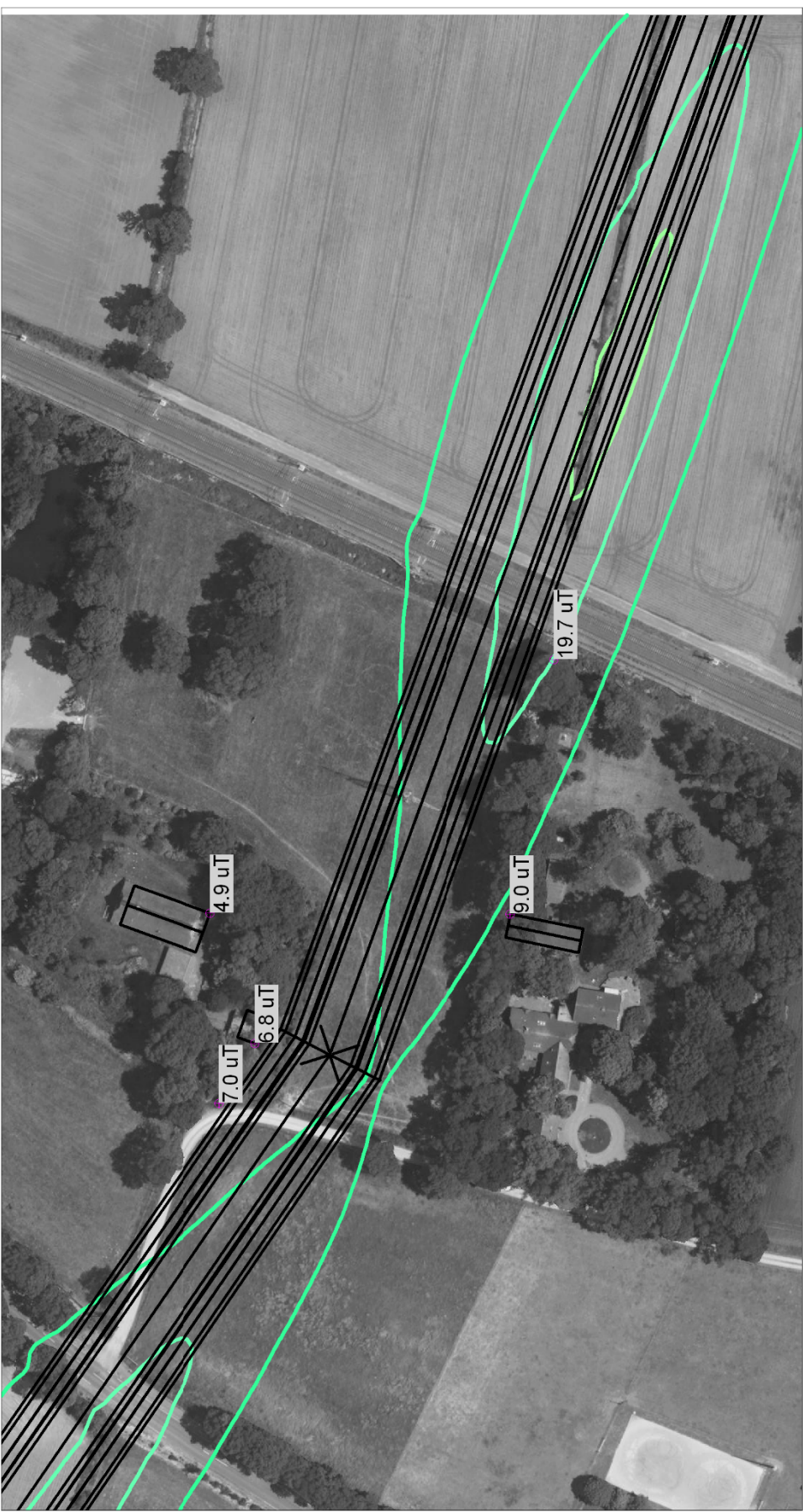
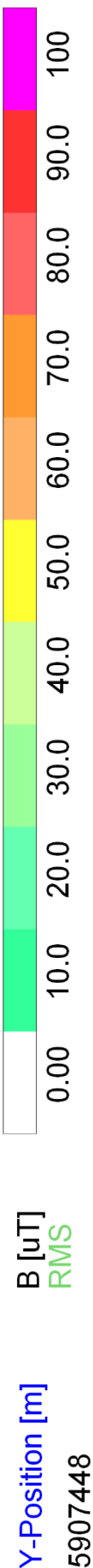
X-Position [m]

441964

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M024 - M025 - M026; mit Vorbelastungen



5907224
444335

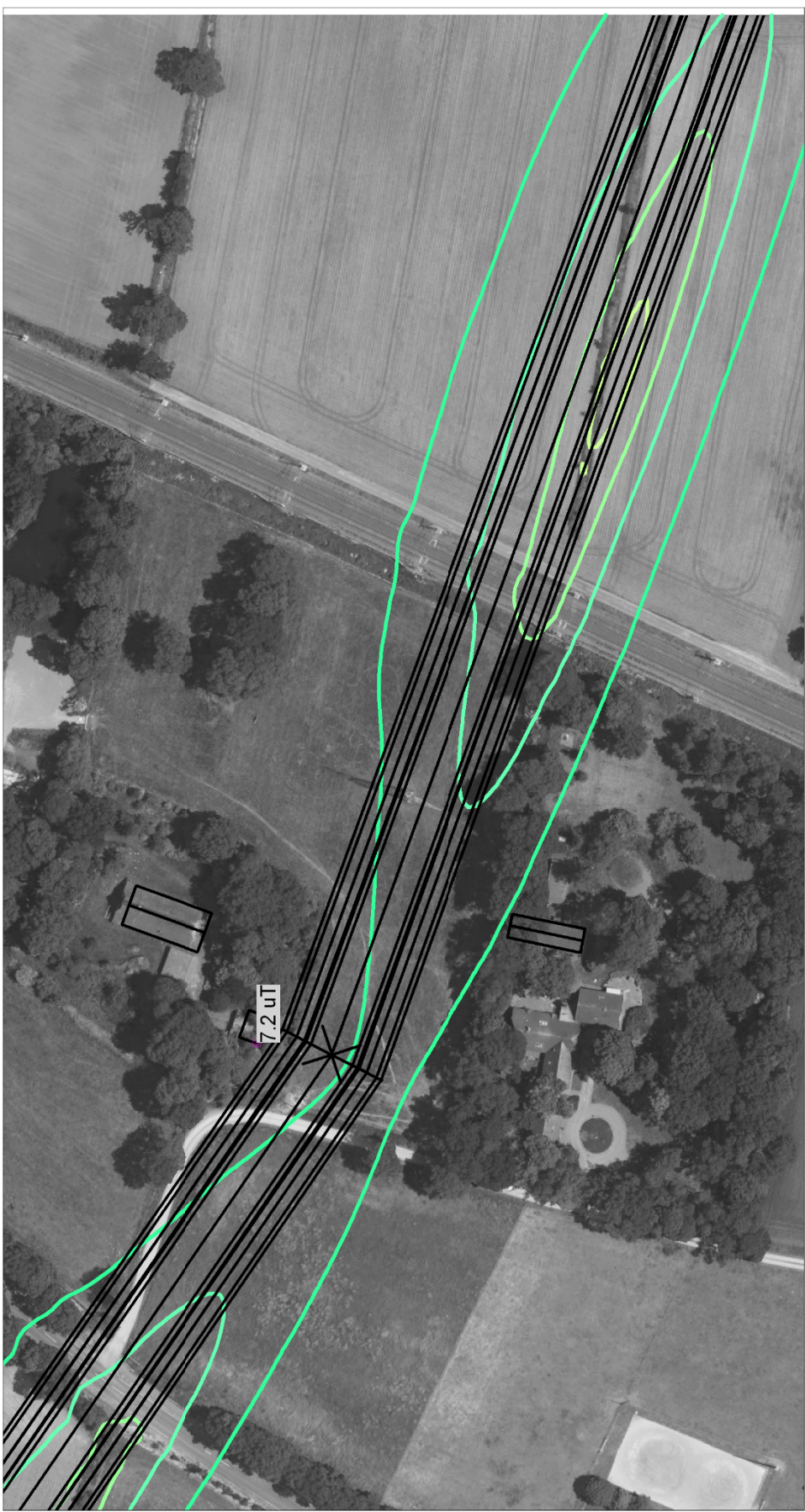
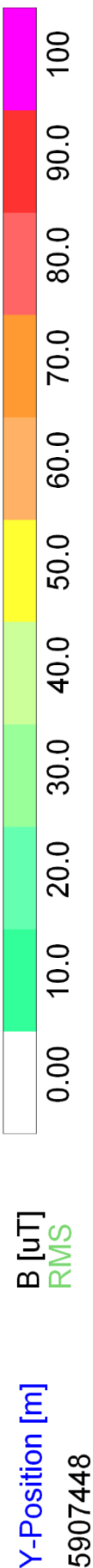
X-Position [m]

444755

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 3 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M024 - M025 - M026; mit Vorbelastungen



5907224
444335

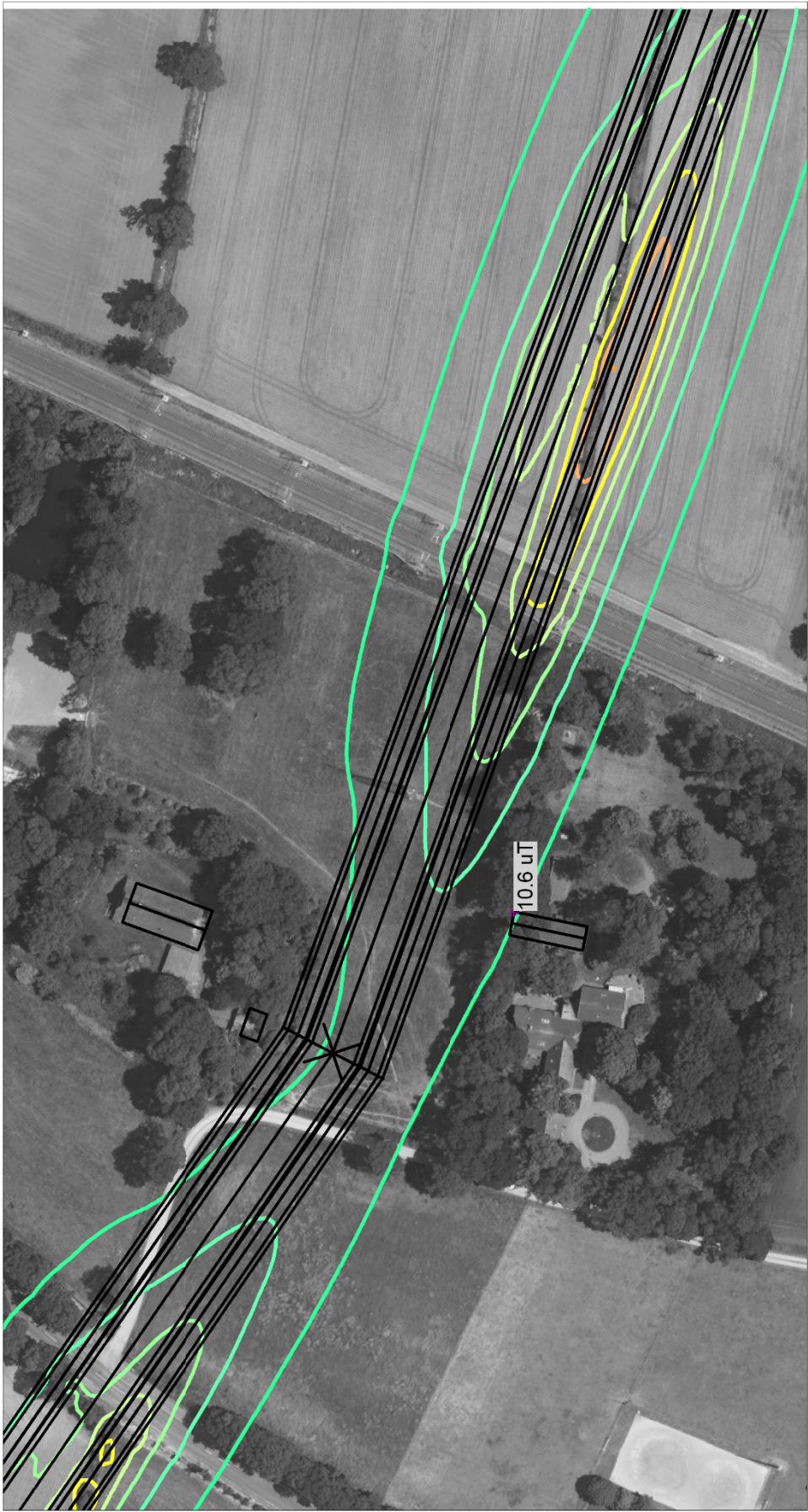
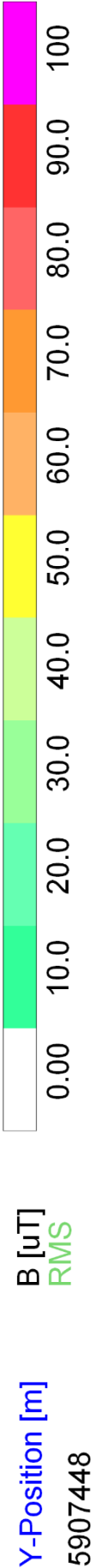
X-Position [m]

444755

Z [m] = 3.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 6 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M024 - M025 - M026; mit Vorbelastungen



5907224
444335

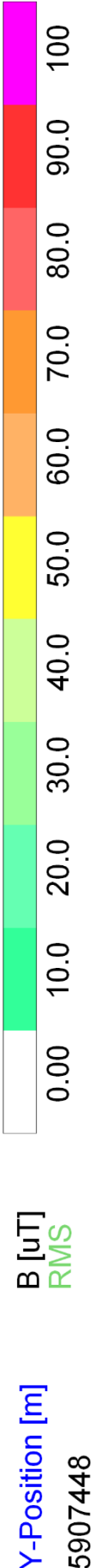
X-Position [m]

444755

Z [m] = 6.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 9 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M024 - M025 - M026; mit Vorbelastungen



5907224
444335

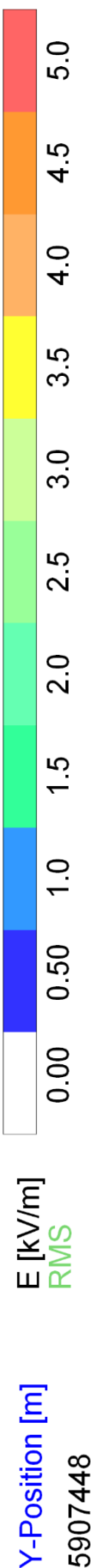
X-Position [m]

444755

Z [m] = 9.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: el. Feldstärke 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M024 - M025 - M026; mit Vorbelastungen



5907224
444334

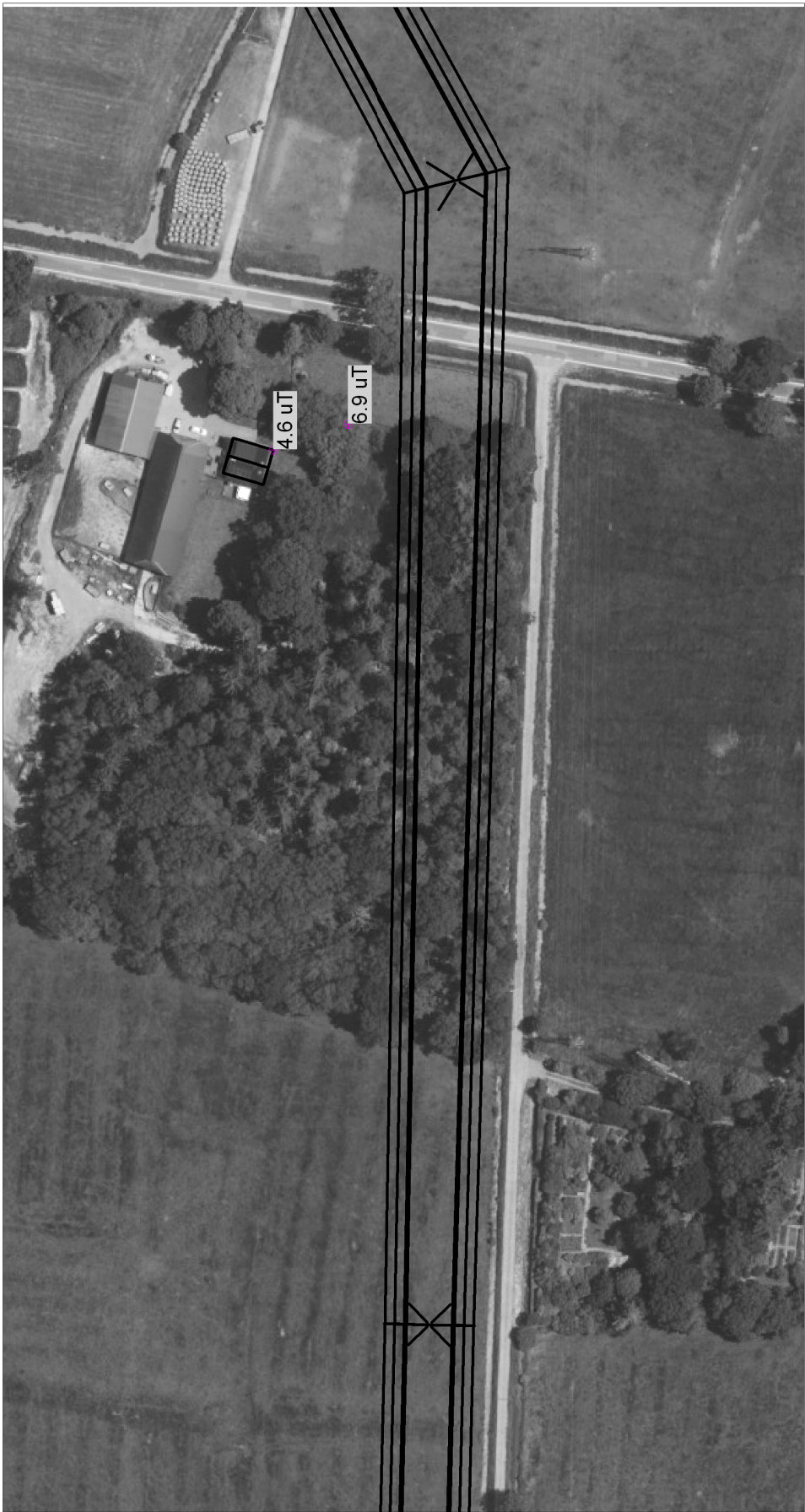
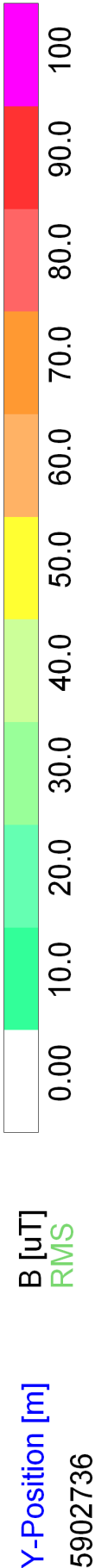
X-Position [m]

444754

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M052 - M053; mit Vorbelastungen



5902504
451702

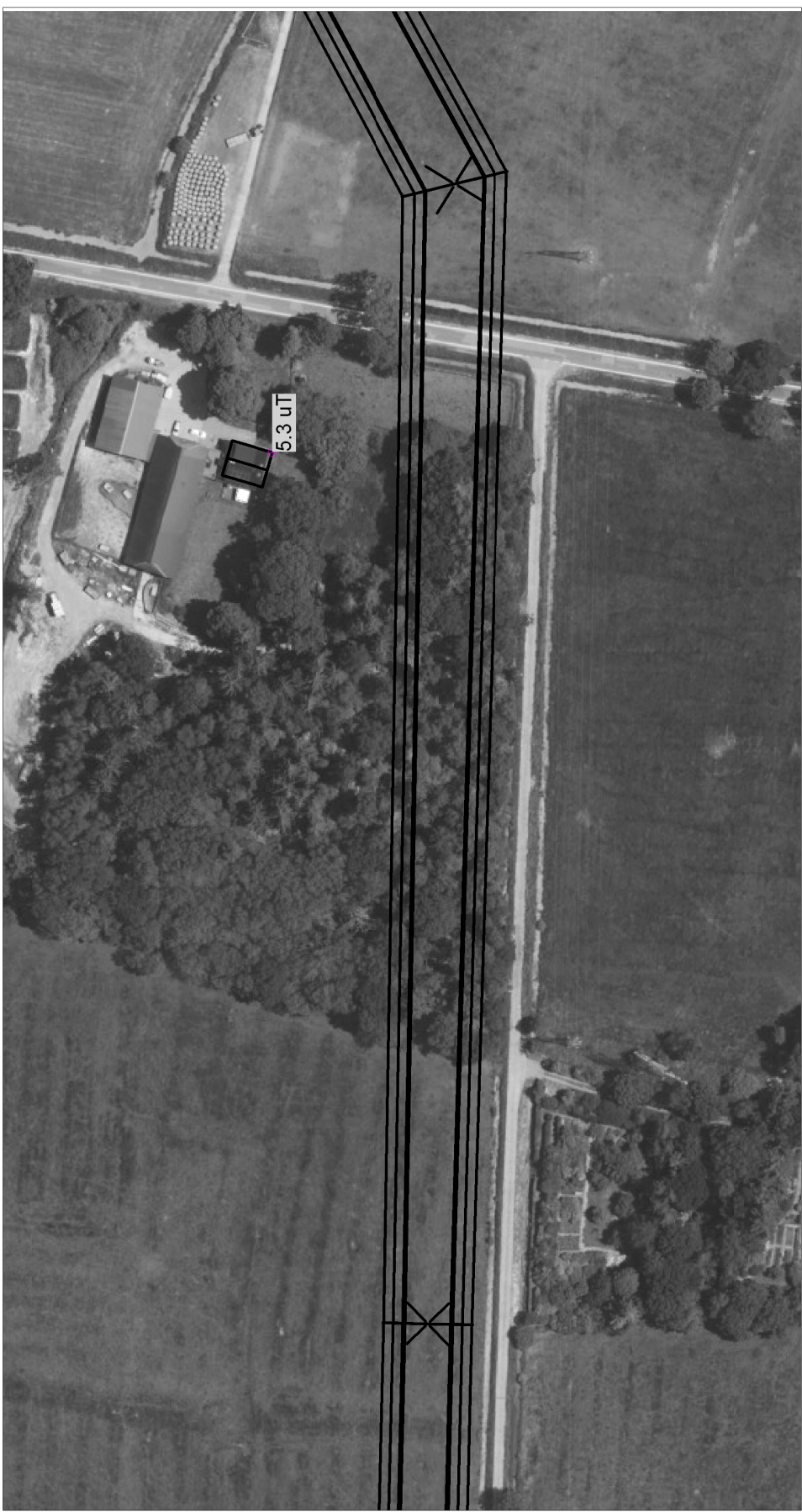
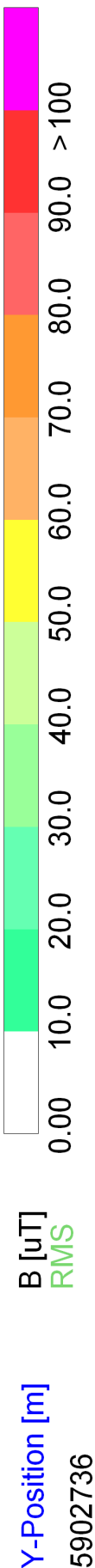
X-Position [m]

452137

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: magn. Flussdichte 10 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M052 - M053; mit Vorbelastungen



5902504
451702

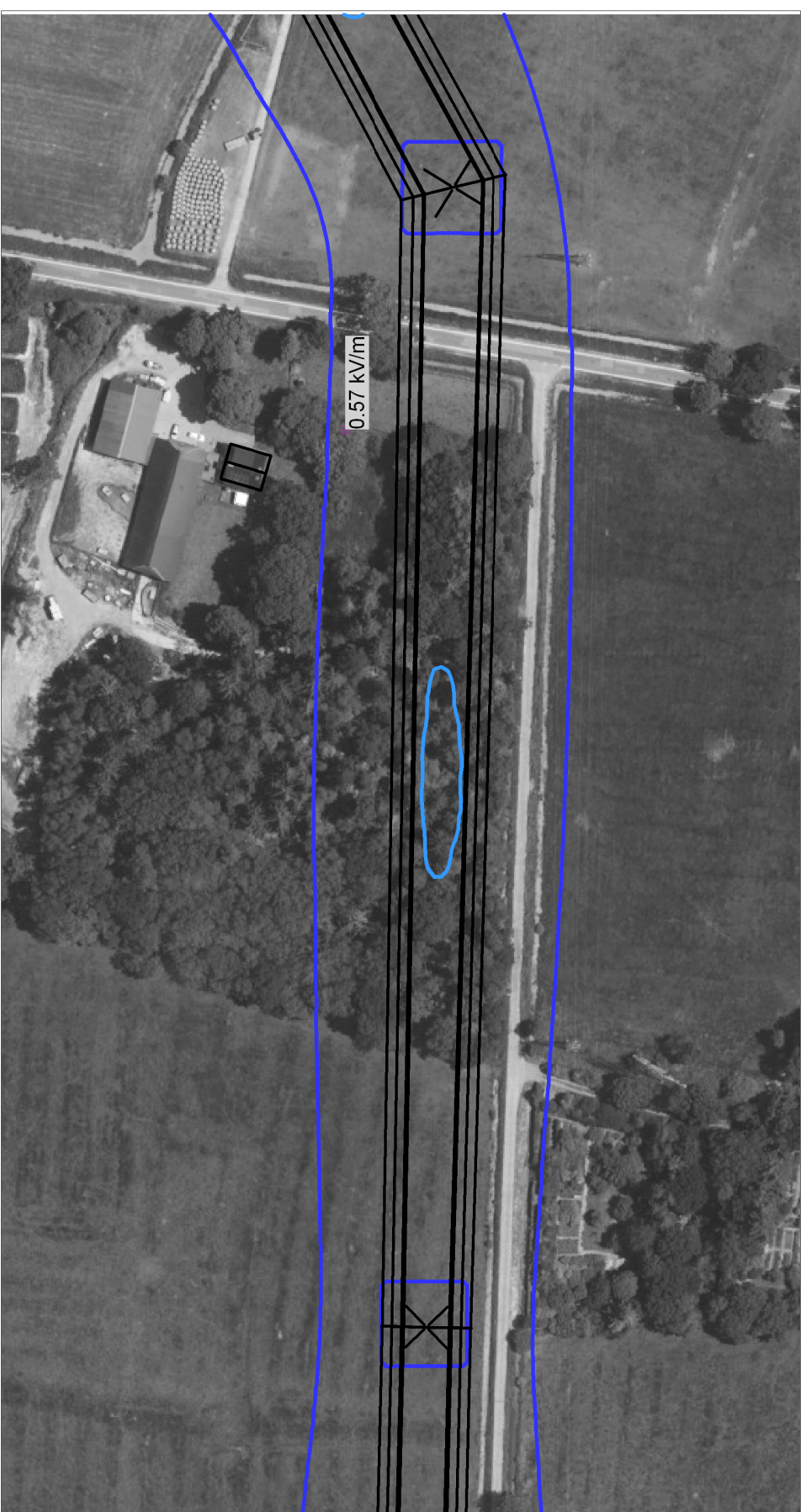
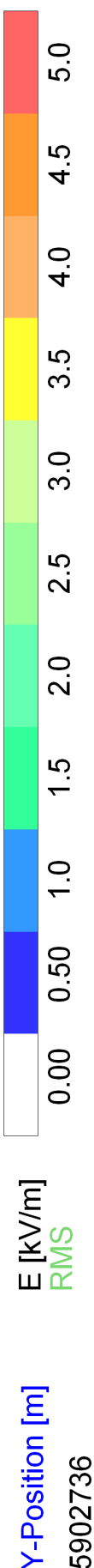
X-Position [m]

Z [m] = 10.000 f [Hz] = 50

452137

380-kV-Freileitung Conneforde - Elsfleth/West: el. Feldstärke 1 m ü. Boden

Belastung: 2 x 4000 A (420 kV); M052 - M053; mit Vorbelastungen



5902504
451702

X-Position [m]

Z [m] = 1.000 f [Hz] = 50

452137