WILA
Wissenschaftsladen Bonn

Gutachten

Berechnungen zu niederfrequenten magnetischen Feldimmissionen, die nach einer eventuellen Aufrüstung einer benachbarten Hochspannungs-leitungen im Bereich eines für den Bau von Wohnungen vorgesehenen Grundstücks an der Uckendorfer Straße in 53844 Troisdorf-Rotter See zu erwarten wären.

Auftraggeber: Architekturbüro Richarz & Ahlefeld
Larstraße 103
53844 Troisdorf-Sieglar

Autor: Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.
Mess- und Beratungsstelle Elektrosmog
Reuterstraße 157
53113 Bonn
Tel.: 0228/20161-0, -32
eMail: Klaus.Trost@Wilabonn.de

Ort und Datum: Bonn, den 16. Januar 2017

Inhaltsverzeichnis:

Seite

1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten ... 2
2. Berechnung elektromagnetischer Feldimmissionen an Hochspannungstrassen ... 4
3. Durchgeführte Simulationsberechnungen ... 4
3.1 Bestimmung der Auslastung der Leitungen zum Zeitpunkt der Messungen am 27. Juli 2016 und Hochrechnung der auf dem Plangebet zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder bei steigender Auslastung ... 6
3.2. Berechnung der nach einer Aufrüstung d[illegible] Plangebiet zu erwartenden Immissionen
3.3. Immissionssenkung durch Phasenoptimi
4. Zusammenfassung ...
5. Anhang: Tabellen mit den verwendeten Be

Uckendorfer Str., 53844 Troisdorf, 16.01.2017

STADT TROISDORF
Der Bürgermeister

Anlage 5
zur Begründung

Bebauungsplan S 91, Bl. 2a, 2. Änderung

Gutachten

Berechnungen zu niederfrequenten magnetischen Feldimmissionen, die nach einer eventuellen Aufrüstung einer benachbarten Hochspannungs-leitungen im Bereich eines für den Bau von Wohnungen vorgesehenen Grundstücks an der Uckendorfer Straße in 53844 Troisdorf-Rotter See zu erwarten wären.

Auftraggeber: Architekturbüro Richarz & Ahlefeld
Larstraße 103
53844 Troisdorf-Sieglar

Autor: Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.
Mess- und Beratungsstelle Elektrosmog
Reuterstraße 157
53113 Bonn
Tel.: 0228/20161-0, -32
eMail: Klaus.Trost@Wilabonn.de

Ort und Datum: Bonn, den 16. Januar 2017

Inhaltsverzeichnis:

Seite

1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten ... 2
2. Berechnung elektromagnetischer Feldimmissionen an Hochspannungstrassen ... 4
3. Durchgeführte Simulationsberechnungen ... 4
3.1 Bestimmung der Auslastung der Leitungen zum Zeitpunkt der Messungen am 27. Juli 2016 und Hochrechnung der auf dem Plangebet zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder bei steigender Auslastung ... 6
3.2. Berechnung der nach einer Aufrüstung der vorhandenen 110/220/380 kV-Kombileitung auf dem Plangebiet zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder ... 9
3.3. Immissionssenkung durch Phasenoptimierung ... 11
4. Zusammenfassung ... 15
5. Anhang: Tabellen mit den verwendeten Berechnungsparametern für das Programm WinField ... 16

1. Ausgangssituation und örtliche Gegebenheiten

In einem Gutachten vom 19. August 2016 und durch Messungen am 27. Juli 2016 habe ich die Immissionen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf dem Plangebiet an der Uckendorfer Straße untersucht, welche hauptsächlich durch die benachbarten Hochspannungsleitungen entstehen. Bezüglich der Beschreibung der Stuation vor Ort und der Untersuchungsergebnisse verweise ich auf dieses Gutachten.

Bei der Sitzung des Stadtentwicklungsausschusses der Stadt Troisdorf vom 14. September 2016 wurde die Frage gestellt, wie sich die Immissionen durch elektromagnetische Felder auf dem Plangebiet ändern, falls die benachbarten Hochspannungsleitungen weiter ausgebaut würden. Derzeit verläuft neben dem Plangebiet eine Bahnstromleitung mit der Spannungsebene 110 kV und eine Kombileitung mit den Spannungsebenen 110 kV, 220 kV und 380 kV (Abb. 1 und 2).

Die Bahnstromleitung versorgt die Hochgeschwindigkeitstrasse Köln - Frankfurt sowie die Siegtalstrecke und die rechtsrheinische Bahnstrecke. Ein Ausbau oder eine höhere Belastung der Bahnstromleitung sind sehr unwahrscheinlich. Höhere Spannungsebenen als 110 kV sind bei Bahnstromleitungen nicht üblich.

Die Kombileitung kann sehr große elektrische Leistungen übertragen. Ein Ausbau wegen unzureichender Leistungsfähigkeit ist auch auf lange Sicht eher unwahrscheinlich. Es ist aber aus Gründen der Vereinfachung (auf lange Sicht soll das 220 kV-Netz verschwinden) trotzdem nicht ausgeschlossen, dass die beiden derzeitigen 220 kV-Systeme irgendwann durch 380 kV-Systeme ersetzt werden. Eine vergleichbare Entwicklung hat es in den letzten Jahren auf der linken Rheinseite (z.B. im Bereich Bornheim / Alfter) gegeben. Dort wurde in einer 380/220/110 kV-Trasse (allerdings auf getrennten Masten) die 220 kV-Leitung durch eine zweite 380 kV-Leitung ersetzt und die neue 380 kV-Leitung mit der 110 kV-Leitung kombiniert.

Wegen der zu kleinen Abstände innerhalb der Mastgeometrie ist es nicht ohne weiteres mög-

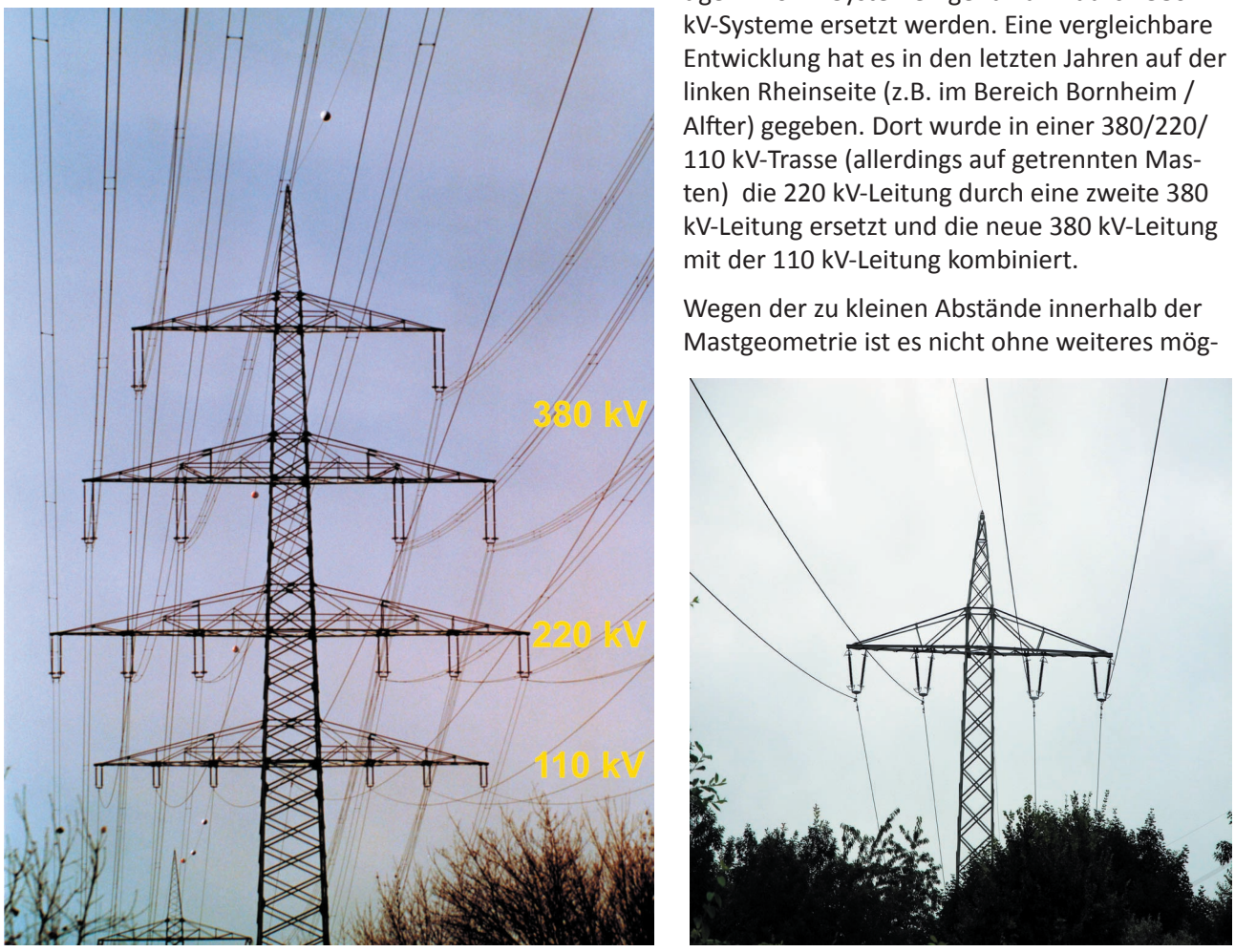


Abb. 1: *Aktuelle Stromtrasse an der Uckendorfer Straße: Links: 2 x 380 kV, 2 x 220 kV und 2 x 110 kV Netzstrom dreiphasig, 50 Hz. Rechts: 2 x 110 kV Bahnstrom zweiphasig, 16,7 Hz*



***Abb. 2:** Lage des Plangebietes an der Uckendorfer Straße mit den Trassenmitten (rot) der benachbarten Hochspannungsleitungen.* *M 1:1600*

lich, auf den vorhandenen Masten die beiden 220 kV-Systeme durch 380 kV-Systeme zu ersetzen. Im Falle einer Umrüstung müssten die Masten umgebaut oder durch neue ersetzt werden und es wäre ein Planfeststellungsverfahren erforderlich.

Nach der beschriebenen Umrüstung können sich im Bereich der Trasse die Immissionen durch elektrische und magnetische Felder verändern, sie müssen aber nicht zwangsläufig ansteigen. In diesem Gutachten wird durch Simulationsberechnungen untersucht, welche Immissionen durch magnetische Wechselfelder auf dem Plangebiet beim Ausbau der Leitungen zu erwarten sind und welche technischen Möglichkeiten bestehen, diese Immissionen zu reduzieren. Außerdem wird untersucht, wie hoch der Auslastungsgrad der jetzigen Leitungen zum Zeitpunkt der Messungen vom 27. Juli 2016 war und wie sich die Immissionen bei einer höheren Auslastung der jetzigen Leitungen auf dem Plangebiet verändern.

2. Berechnung elektromagnetischer Feldimmissionen an Hochspannungstrassen

Es ist möglich, die Immssionen durch elektrische und magnetische Wechselfelder im Bereich einer Hochspannungsleitung mit Hilfe spezieller Simulationsprogramme zu berechnen. Bei Magnetfeldern sind die Ergebnisse der Berechnungen sehr genau, während die elektrischen Felder wegen deren leichter Abschirmbarkeit und Beeinflussung durch fast jedes Material nur im freien Raum genau berechnet werden können. Voraussetzung für die Güte der Berechnungen ist vor allem die genaue Kenntnis der geometrischen Anordnung der Leiterseile sowie die Phasenbelegung der Leiterseile. Die Magnetfelder hängen zusätzlich noch von der fließenden Stromstärke und die elektrischen Felder von der Höhe der Betriebsspannung ab.

Die geometrische Anordung der Leiterseile ergibt sich aus den Koordinaten (x, y, z) ihrer Aufhängepunkte an den Masten und dem aus den Gesetzen der Seilstatik ableitbaren Verlauf der durchhängenden Leiterseile.

Bei Hochspannungsleitungen der öffentlichen Stromversorgung kommen wegen der höheren Wirtschaftlichkeit ausschließlich dreiphasige Systeme zum Einsatz. Ein System besteht aus drei Leiterseilen oder drei Leiterseilbündeln, deren Stromphasen um 120° gegeneinander verschoben sind. Es gibt also Phasen mit den Phasenwinkeln 0° (Phase 1), 120° (Phase 2) und 240° (Phase 3).

In Deutschland betreibt die DB wegen der vom Netzstrom abweichenden Frequenz (16,7 Hz) des Bahnstromes ein eigenes 110 kV-Hochspannungsnetz zum Betrieb der Bahnen. Dieses Netz ist zweiphasig (zwei Leiterseile pro System) mit den Phasenwinkeln 0° und 180°.

Die fließende Stromstärke ist abhängig vom Stromverbrauch und daher variabel. Sie schwankt bei Hochspannungsleitungen meist nur wenig und liegt außer bei Betriebsstörungen und seltenen Spitzenlasten normalerweise im Bereich von 20 % bis höchstens 30 % der Vollast.

Die Betrebsspannung von Hochspannungsleitungen ist von vernachlässigbaren kleinen Schwankungen abgesehen stets konstant, so dass die von den Leitungen ausgehenden elektrischen Felder weitgehend konstant sind.

3. Durchgeführte Simulationsberechnungen

Zur Berechnung magnetischen Felder im Bereich des Plangebietes an der Uckendorfer Straße wurde das Programm WinField V4.03 der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie verwendet. Die Geometrie der Hochspannungstrasse wurde in ihrem genauen Verlauf auf einer Länge von ca. 1250 m (über



***Abb. 3:** Lageplan des simulierten Trassenverlaufs mit dem Plangebiet etwa in der Mitte des simulierten Trassenverlaufs*

zwei mal vier Masten) nachgebildet und in das Programm WinField eingegeben. Abb. 3 zeigt den simulierten Trassenverlauf mit allen Leiterseilen (soweit in der kleinen Grafik erkennbar) und den acht Masten sowie die Lage des Plangebietes etwa in der Mitte des Trassenverlaufs. Der Standort des Masten der Kombileitung 110/220/380 kV links oben wurde für die Simulation als Koordinate y = 0 gesetzt sowie die Mittelachse dieser Leitung als Koordinate x = 0. In den späteren Ergebnisdiagrammen (x-Diagramme) beziehen sich die x-Abstände auf diese Mittelachse der Kombileitung mit x = 0. Alle für die Berechnungen erforderlichen Parameter wurden für das Programm WinField in Tabellen eingetragen, die im Anhang für die verschiedenen Berechnungen abgebildet sind.

3.1 Bestimmung der Auslastung der Leitungen zum Zeitpunkt der Messungen am 27. Juli 2016 und Hochrechnung der auf dem Plangebet zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder bei steigender Auslastung

Die Messungen der magnetischen Induktion vom 27. Juli 2016 hatten für das Plangebiet sehr günstige Immissionswerte geliefert. Da die magnetischen Feldimmissionen im Bereich einer Hochspannungsleitung von deren Stromauslastung abhängen wäre es hilfreich, den Auslastungsgrad der Leitung zum Zeitpunkt der Messungen zu kennen, um die Relevanz der Messwerte für die im langfristigen Mittel zu erwartenden Immissionen abschätzen zu können.

Durch Simulationsberechnungen ist es möglich, den Auslastungsgrad einer Hochspannungsleitung zum Zeitpunkt einer magnetischen Immissionsmessung zu bestimmen, sofern man ihre Leiterseilgeometrie kennt. Die Geometrien der Leitungen wurden entsprechend den Standardmaßen der Masten (110/220/380 kV Kombi und 110 kV Bahnstrom Einebene) in das Programm WinField eingegeben. Die grüne Kurve in Abb. 4 wurde durch eine Simuationsberechnung mit dem Auslastungsgrad der Kombileitung von 20 % erzeugt. Die an den Messpunkten 2, 3, 4 und 5 gewonnenen mitteren Induktionswerte wurden mit ihren x-Abständen

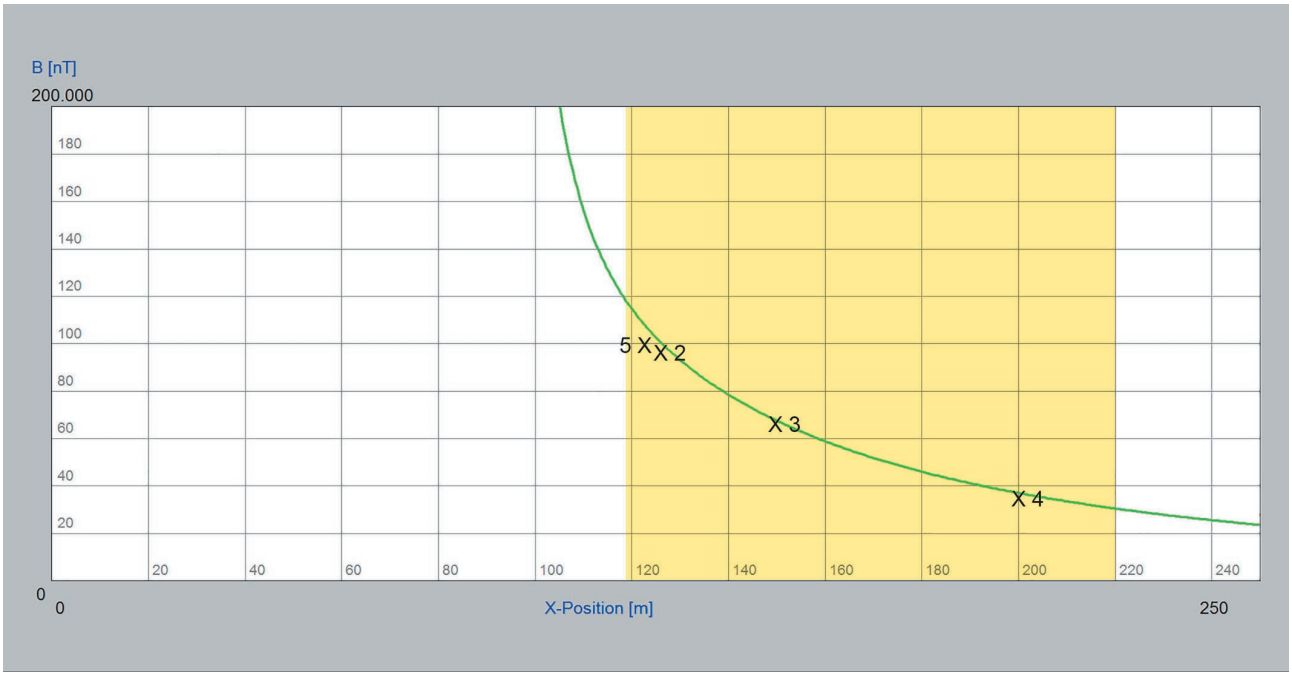


Abb. 4: *Bestimmung des Auslastungsgrades der Kombileitung mit Hilfe der Messwerte vom 27. Juli 2016. Die grüne Kurve entspricht dem Verlauf der magnetischen Induktion quer zur Trasse bei einer 20 %igen Auslastung der Kombiletung. Gelb: Lage des Plangebietes, X-Position = 118 m bis ca. 220 m*

zur Kombileitung in das Diagramm eingeragen. Sie passen gut zum Verlauf der Kurve und liegen geringfügig darunter. Der Auslastungsgrad der Kombileitung (für alle Spannungsebenen wurde eine Auslastung von 20 % angenommen) betrug zum Zeitpunkt der Messungen am 27. Juli 2016 also knapp 20 %. Die Auslastung der 110 kV-Bahnstromleitung wurde aufgrund des Messwertes an Messpunkt 1 (in der Trassenmitte der Bahnstromleitung) mit 11 % bestimmt.

Die Auslastung 20 % entspricht dem normalen Auslastungsgrad von Hochspannungsleitungen im öffentlichen Stromnetz. Auslastungen über 30 % kommen außer bei Betriebsstörungen und in den Ableitungen großer Kraftwerke kaum vor. Die Netzbetreiber sind bestrebt, durch gleichmäßige Lastverteilungen auf das gesamte Hochspannungsnetz höhere Auslastungen zu vermeiden, weil die Verluste von Wechselstromleitungen (im Gegensatz zu Gleichstromleitungen) mit zunehmender Auslastung überproportional ansteigen. Die mittlere Auslastung von Bahnstromleitungen ist meist kleiner als die von Netzstromleitungen, weil hier kurzzeitig sehr große Lastschwankungen aufreten, die ohne Betriebsstörungen verkraftet werden müssen und nicht zum Ausfall der Leitung führen dürfen.

Die auf dem Plangebiet zu ewartenden Immissionen durch Magnetfelder wurden für Auslastungen der derzeitigen Kombileitung mit 20 % und 30 % der Nennlast berechnet. Unten ist in einem 2D-Diagramm die Verteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebet und unter den Hochspannungsleitungen für eine Auslastung von 20 % und auf der nächsten Seite für 30 % dargestellt. Die Farbskalierung wurde so gewählt, dass die Verteilung auf dem Pangebiet möglichst gut zu erkennen ist. Die hier nicht interessierende Feldverteilung unter den Leitungen ist daher kaum oder gar nicht zu sehen.

2D-Diagramme können den Feldverlauf in der Fläche gut veranschaulichen, sind aber kaum geeignet, wenn es um das Ablesen genauerer Werte geht. Das Ablesen genauer Immissionswerte in einem bestimmten Abstand zu einer Hochspannungsleitung ist bei X-Diagrammen wesentlich besser möglich. X-Diagramme stellen den Induktionsverlauf quer zur Trasse an einer bestimmten Stelle der Hochspannungsleitung dar. Zur Berechnung der X-Diagramme wurde eine Linie gewählt, die senkrecht von der Trassenmitte der Kombilei-

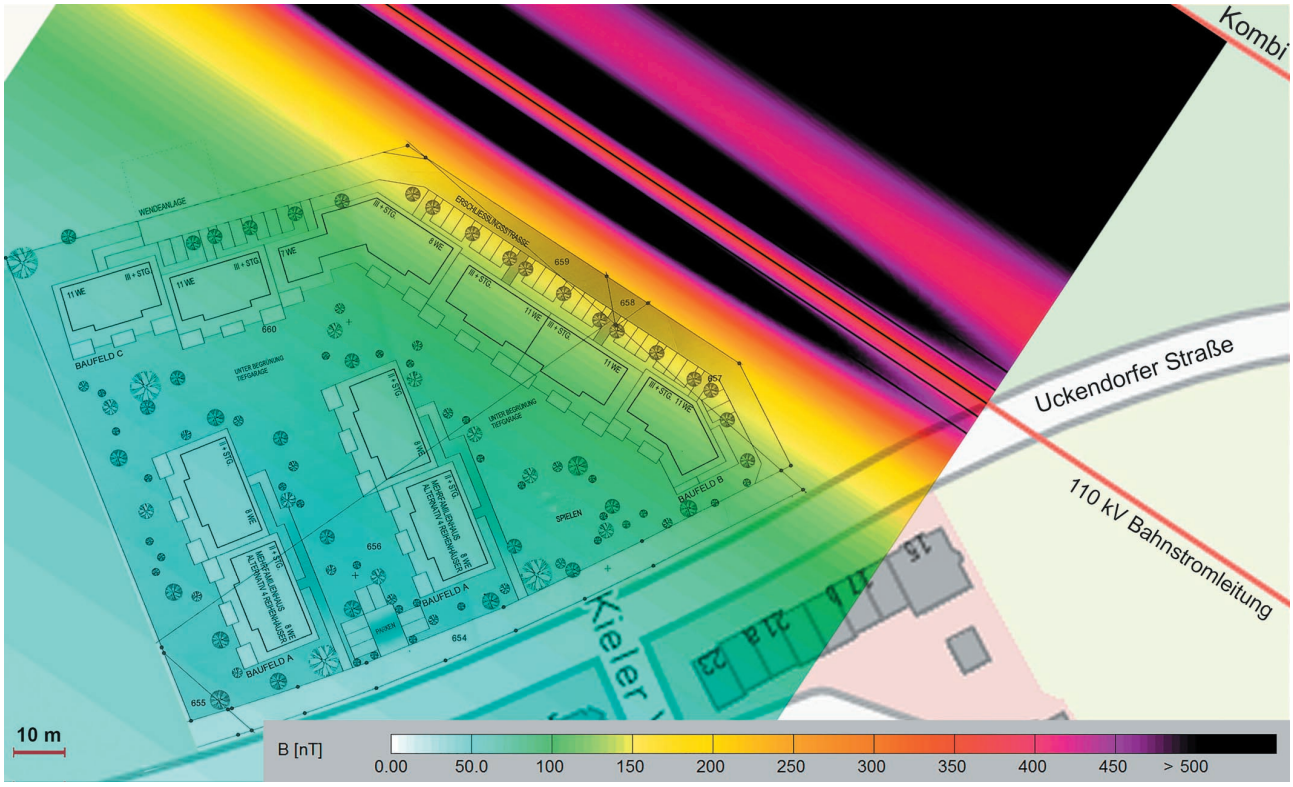


***Abb. 5:** Berechnetes 2D-Diagramm der Verteilung der magnetischen Induktion im Bereich des Plangebiets bei **20 % Auslastung** der zur Zeit der Messungen vom 27. Juli 2016 vorhandenen Hochspannungsleitungen*

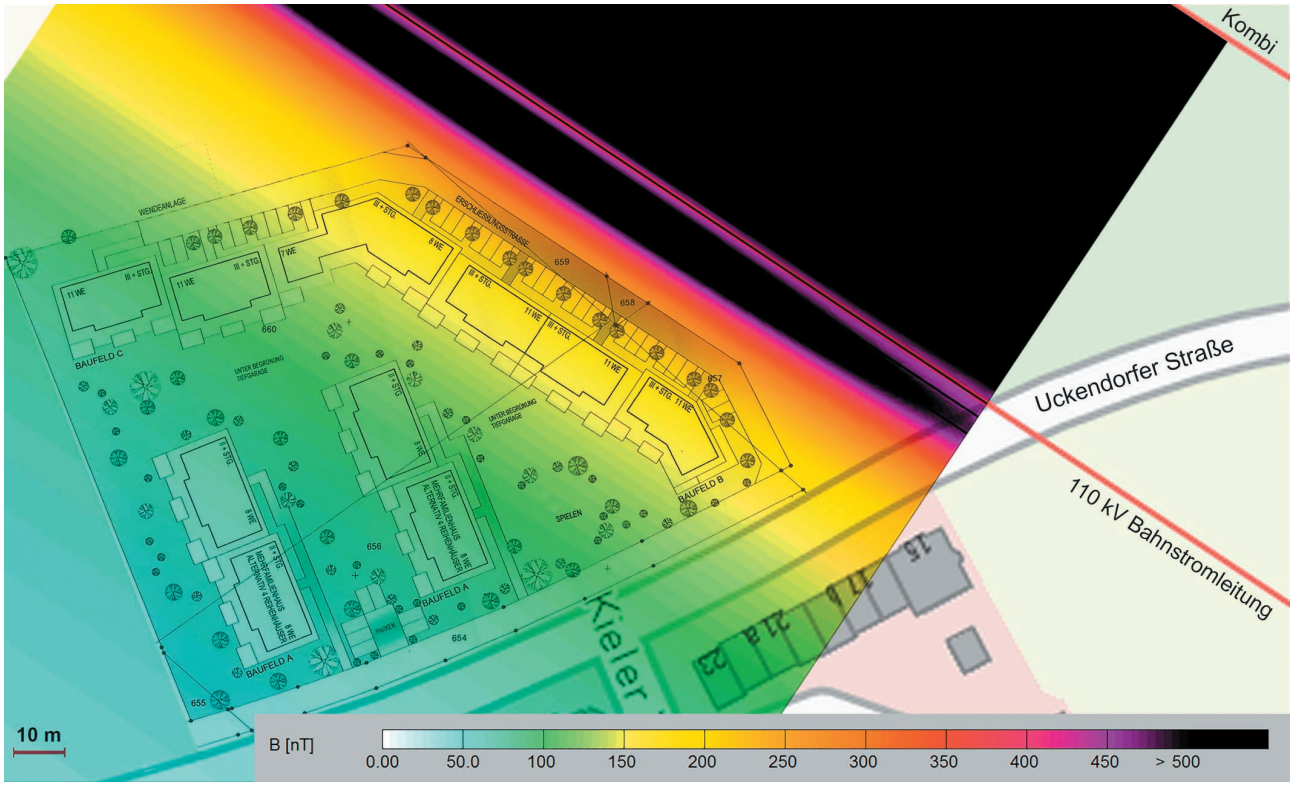


Abb. 6: *Berechnetes 2D-Diagramm der Verteilung der magnetischen Induktion im Bereich des Plangebiets bei* ***30 % Auslastung*** *der zur Zeit der Messungen vom 27. Juli 2016 vorhandenen Hochspannungsleitungen*

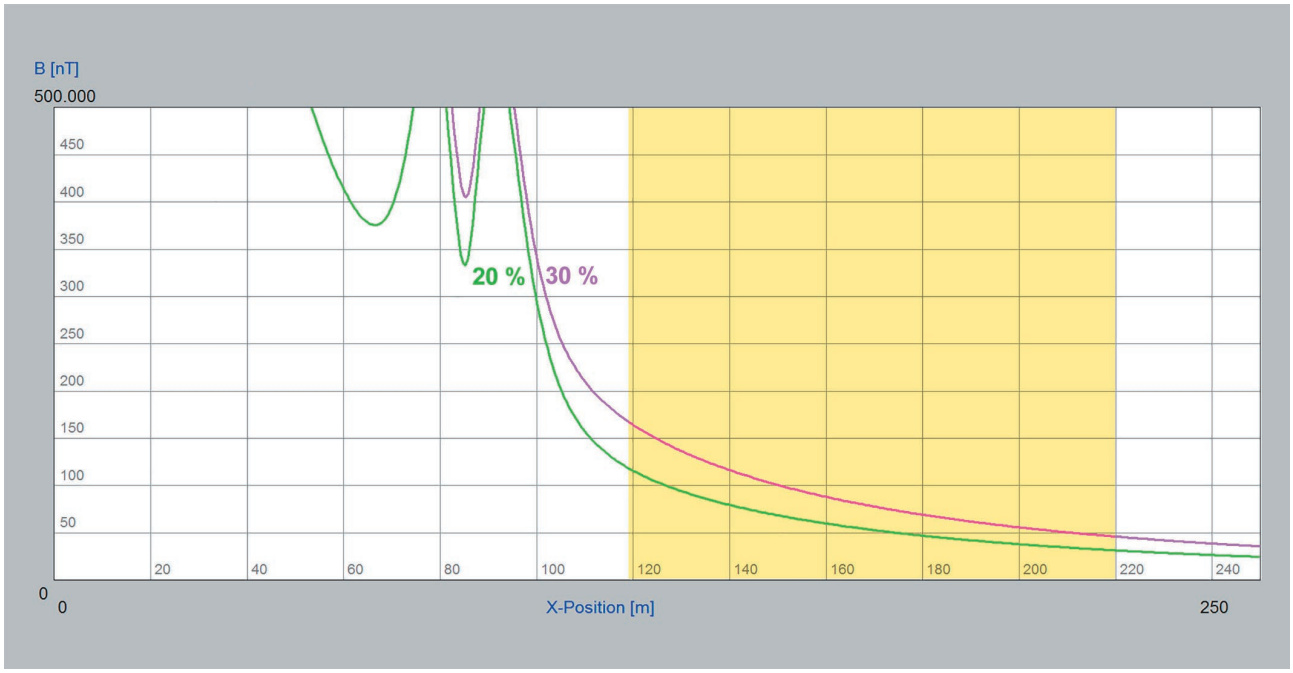


Abb. 7: *Berechnetes X-Diagramm des Vertlaufs der magnetischen Induktion im Bereich des Plangebiets bei 20 % und 30 % Auslastung der zur Zeit der Messungen vom 27. Juli 2016 vorhandenen 110/220/380 kV-Kombileitung*

tung (x = 0) ausgeht und etwa in der Mitte durch das Plangebiet verläuft. Im Interesse einer guten Ablesbarkeit der Werte im Bereich des Plangebietes wurde die Skalierung der Y-Achse (magnetische Induktion in nT) auf einen Maximalwert von nur 500 nT eingestellt. Damit liegen die Immissionen unter den Hochspannungsleitungen (x = 0 bis etwa x = 95) teilweise außerhalb des darstellbaren Bereichs.

Im X-Diagramm Abb. 7 ist der Induktionsverlauf für eine Auslastung der Kombileitung von 20 % und 30 % gemeinsam dargestellt. Die Auslastung der für die Immissionen auf dem Plangebiet fast unwichtigen Bahnstromleitung wurden wurden für die Berechnungen auf 11 % der Nennlast eingestellt. Die Berechnungsergebnisse bei 20 % Auslastung der Kombileitung entsprechen in etwa den auf dem Plangebiet am 27. Juli 2016 erhaltenen Messwerten und liegen leicht über diesen. Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchungen bleibt festzuhalten, dass auch bei einer Laststeigerung auf 30 % der Nennlast (das entspräche immerhin gegenüber der Auslastung 20 % einer 50 %igen Steigerung) der Maximalwert der magnetischen Induktion mit ca. 170 nT auf dem Plangebiet unter dem Vorsorgerichtwert 200 nT bleibt.

3.2 Berechnung der nach einer Aufrüstung der vorhandenen 110/220/380 kV-Kombileitung auf dem Plangebiet zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder

Obwohl die vorhandene Kombileitung noch erhebliche Leistungsreserven hat ist es möglich, dass die beiden 220 kV-Systeme aus Rationalisierungsgründen auf mittere Sicht (Auf lange Sicht soll das 220 kV-Hochspannungsnetz verschwinden und in das 380 kV-Netz integriert werden.) durch 380 V-Systeme ersetzt werden. Auf der linken Rheinseite wurde im Bereich Bornheim / Alfter in den letzten Jahren eine 220 kV-Leitung bei schon vorhandener 380 kV-Leitung durch eine zweite 380 kV-Leitung ersetzt. Eine ebenfalls schon vorhandene 110 kV-Leitung wurde beibehalten und mit der neuen 380 kV-Leitung zu einer Leitung auf 110/380 kV-Kombimasten zusammengefasst.

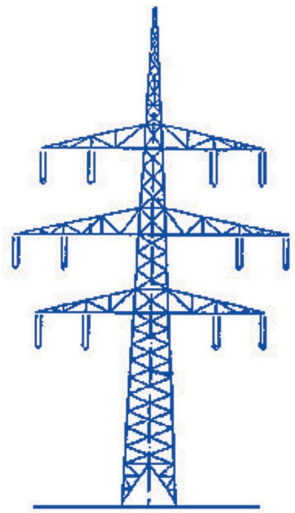


Abb. 8: *Mastbild 4 x 380 kV-Tonne*

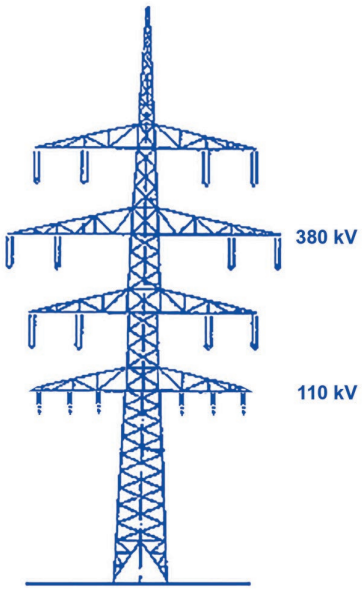


Abb. 9: *Mastbild 2 x 110 kV und 4 x 380 kV mit Tonnengeometrie*

Es ist also denkbar, dass die Kombileitung unter Beibehaltung der beiden 110 kV-Systeme (Sie werden für die lokale Stromverteilung gebraucht) auf vier 380 kV-Systeme aufgerüstet wird. Ein direkter Austausch der 220 kV-Einebenensysteme gegen 380 kV-Einebenensysteme ist wegen des erheblich größeren Platzbedarfs nicht möglich, so dass neue Masten errichtet werden müssten.

Die leistungsstärksten derzeit in Deutschland verwenden Hochspannungsleitungen sind Leitungen vom Typ 380 kV-Tonne-vierfach (Abb. 8). Ein Ersatz der aktuellen Kombileitung durch eine Leitung nach Abb. 8 würde zwar trotz der kleinere Zahl von Systemen einer Kapazitätserhöhung entsprechen, es fehlten aber die

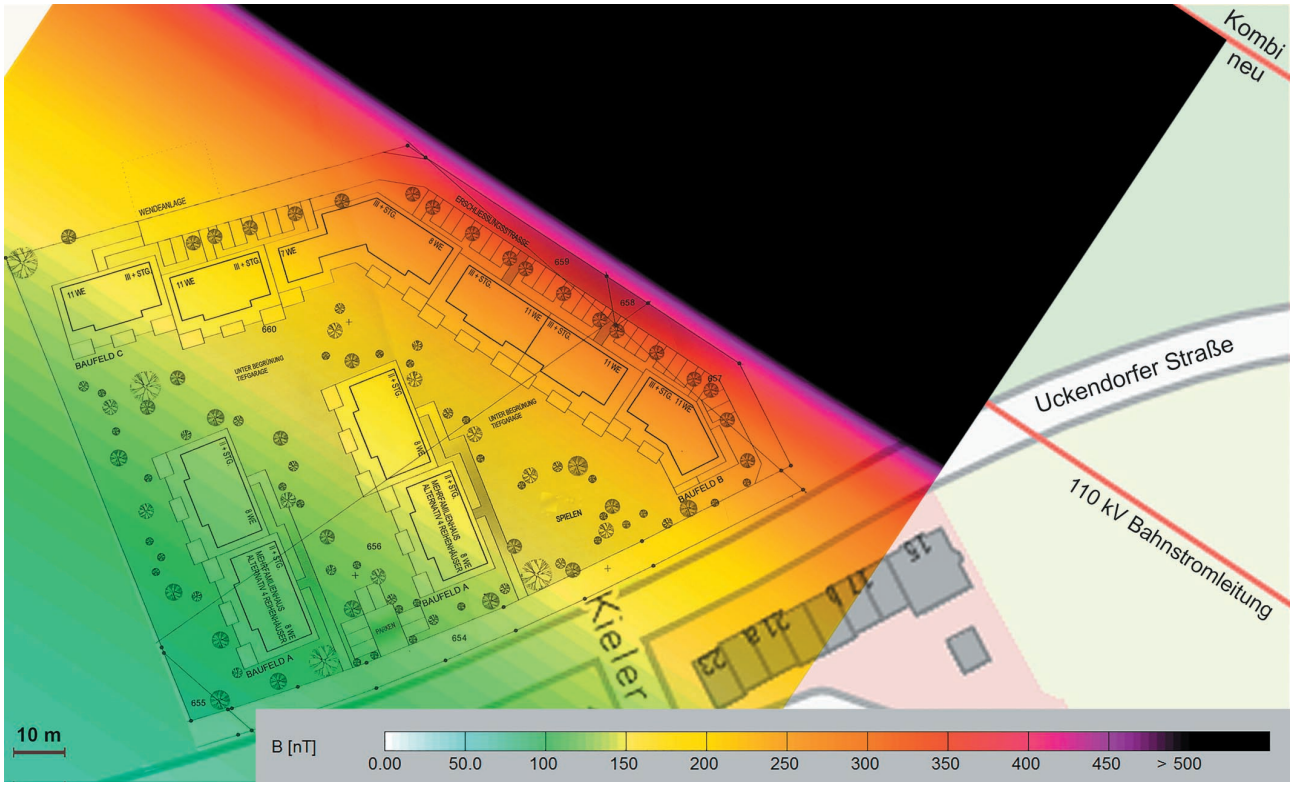


Abb. 10: *Neue Kombileitung nach Abb. 9. Verteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet bei einer* ***Auslastung von 20 %, Phasengeometrie Standard***

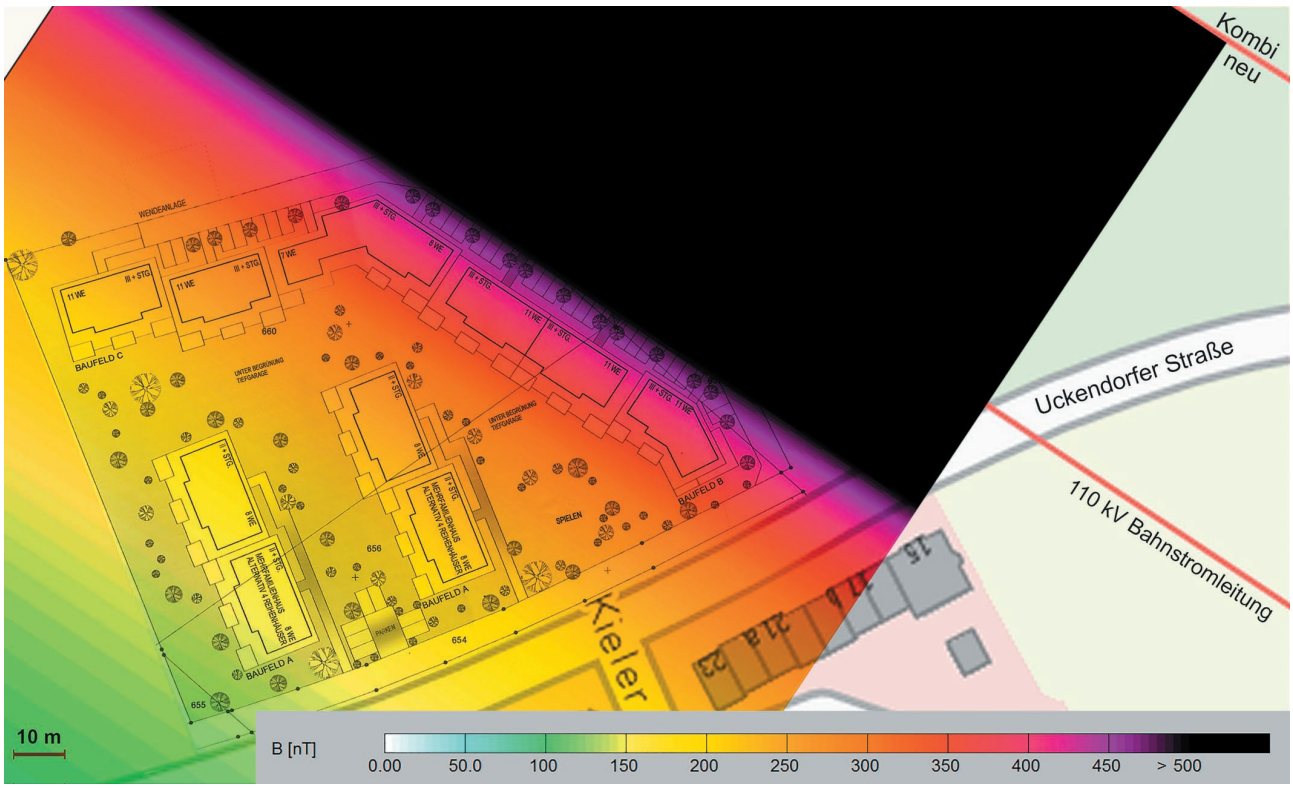


Abb. 11: *Neue Kombileitung nach Abb. 9. Verteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet bei einer* ***Auslastung von 30 %. Phasengeometrie Standard***

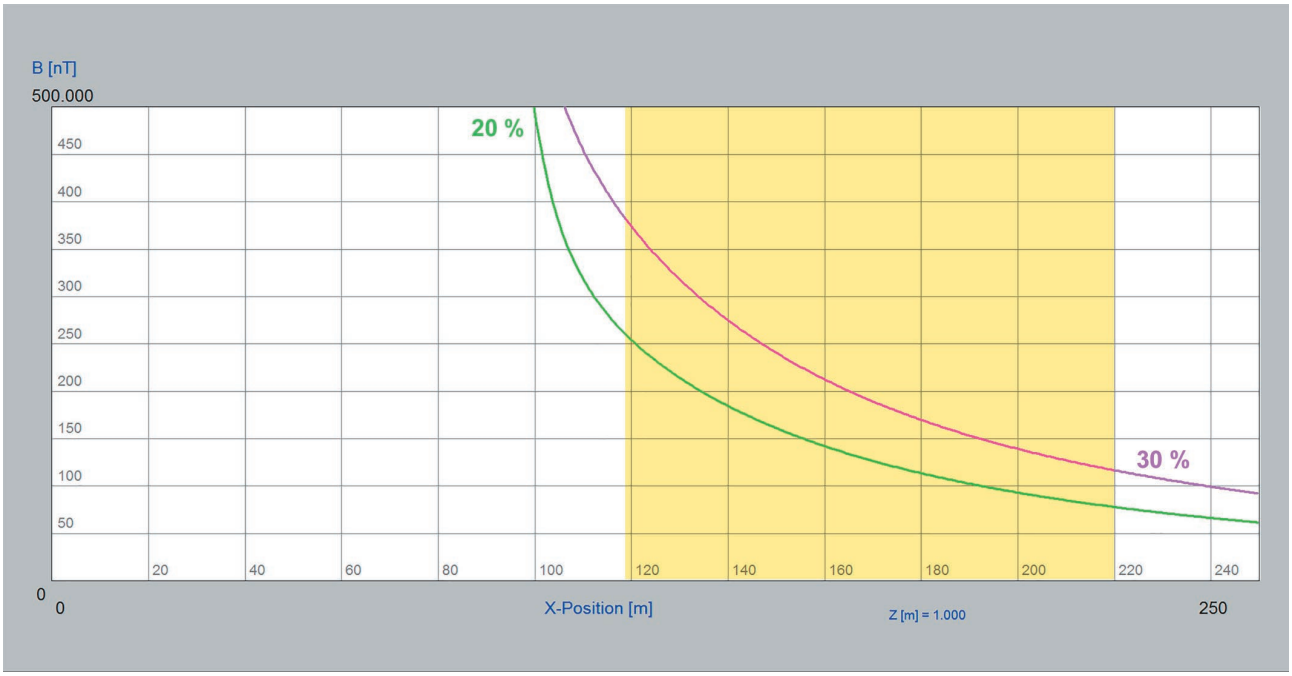


Abb. 12: *Verlauf der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet (gelb) bei 20 % und 30 % Auslastung der neuen Leitung nach Abb. 9, Phasen Standard*

beiden 110 kV-Systeme, die für die lokale Stromverteilung unerlässlich sind. Eine Kombination aus einem Mast nach Abb. 8 mit zwei untergebauten 110 kV-Einebenensystemen hätte eine Geometrie nach Abb. 9. Ein solcher Mast wäre nur etwa 5 Meter höher als die derzeitigen 110/220/380 kV-Kombimasten. Bei den folgenden Berechnungen wurde eine neue Leitung mit einer Geometrie nach Abb. 9 zu Grunde gelegt.

Die Berechnungen für die neue Kombileitung wurden wieder mit den Auslastungen 20 % und 30 % durchgeführt. Für die Bahnstromleitung wurde im Vergleich zu den Berechnungen in Kap. 3.1 eine erhöhte mittlere Auslastung von 15 % angenommen. Die Ergebnisse sind in den 2D-Diagrammen auf Seite 10 sowie für beide Auslastungen gemeinsam in dem X-Diagramm auf Seite 11 dargestellt. Die magnetische Induktion steigt bei gleicher Auslastung - bei der allerdings wesentlich mehr elektrische Leistung als derzeit transportiert wird - im Vergleich zu den Immissionen durch die alte Kombileitung deutlich an. Bei 20 % Auslastung wäre auf dem Plangebiet mit Immissionen bis 255 nT und bei 30 % Auslastung bis 380 nT zu rechnen. Der Vorsorgerichtwert 200 nT würde also überschritten.

3.3 Immissionssenkung durch Phasenoptimierung

Alle bisherigen Berechnungen erfolgten mit der Standardanordnung der Phasengeometrie. Diese ergibt sich aus der Vermeidung von Leiterseilkreuzungen auf der gesamten Strecke zwischen zwei Umspannwerken oder Freischaltanlagen. Die Berechnungen in Kap. 3.2 wurden mit der Phasengeometrie nach Abb. 13 durchgeführt. Wegen der je nach Phasengeometrie mehr oder weniger ausgeprägten kompensierenden Effekte schwanken die magnetischen Feldemissionen einer Hochspannungsleitung je nach Phasenanordnung ganz erheblich. Es gibt Phasengeometrien, die zu einer besonders starken Erzeugung von Magnetfeldern führen und andere, bei denen die Felder besonders schwach sind. Die Standardgeometrie liegt hinsichtlich ihrer Felderzeugung in einem Mittelbereich, so dass es auf jeden Fall Geometrien gibt, bei denen die Erzeugung von Magnetfeldern schwächer ist als bei Standardgeometrien.

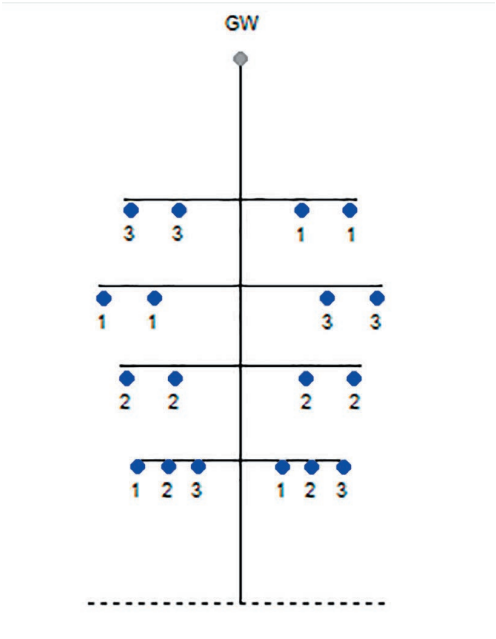


Abb. 13: *Standardgeometrie der Phasenanordnung an einem Mast nach Abb. 9*

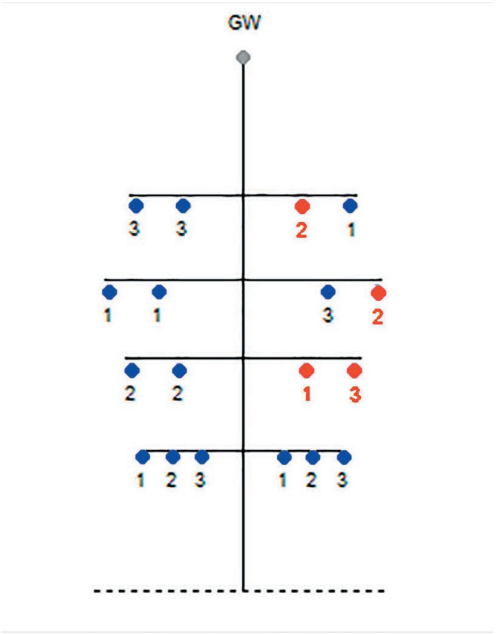


Abb. 14: *Optimierte Geometrie der Phasenanordnung an einem Mast nach Abb. 9*

Beim Phasentausch entstehen Kreuzungen von Leiterseilen, die überschlagsfest ausgeführt werden müssen. Um überschlagsfeste Leiterseilkreuzungen technisch durchzuführen, ist bei einer bestehenden Hochspannungsleitung - zumal in der Spannungsebene 380 kV - ein deutlicher Aufwand erforderlich. Beim Neubau einer Leitung dagegen können die Maßnahmen schon bei den Planungen berücksichtigt werden, so dass sich der zusätzliche Aufwand in Grenzen hält.

Durch Tausch von nur zwei Phasenparen entsprechend Abb. 14 können die Immissionen durch Magnetfelder im Plangebet so weit gesenkt werden, dass sie nach erfolgtem Ausbau der Hochspannungstrasse sogar

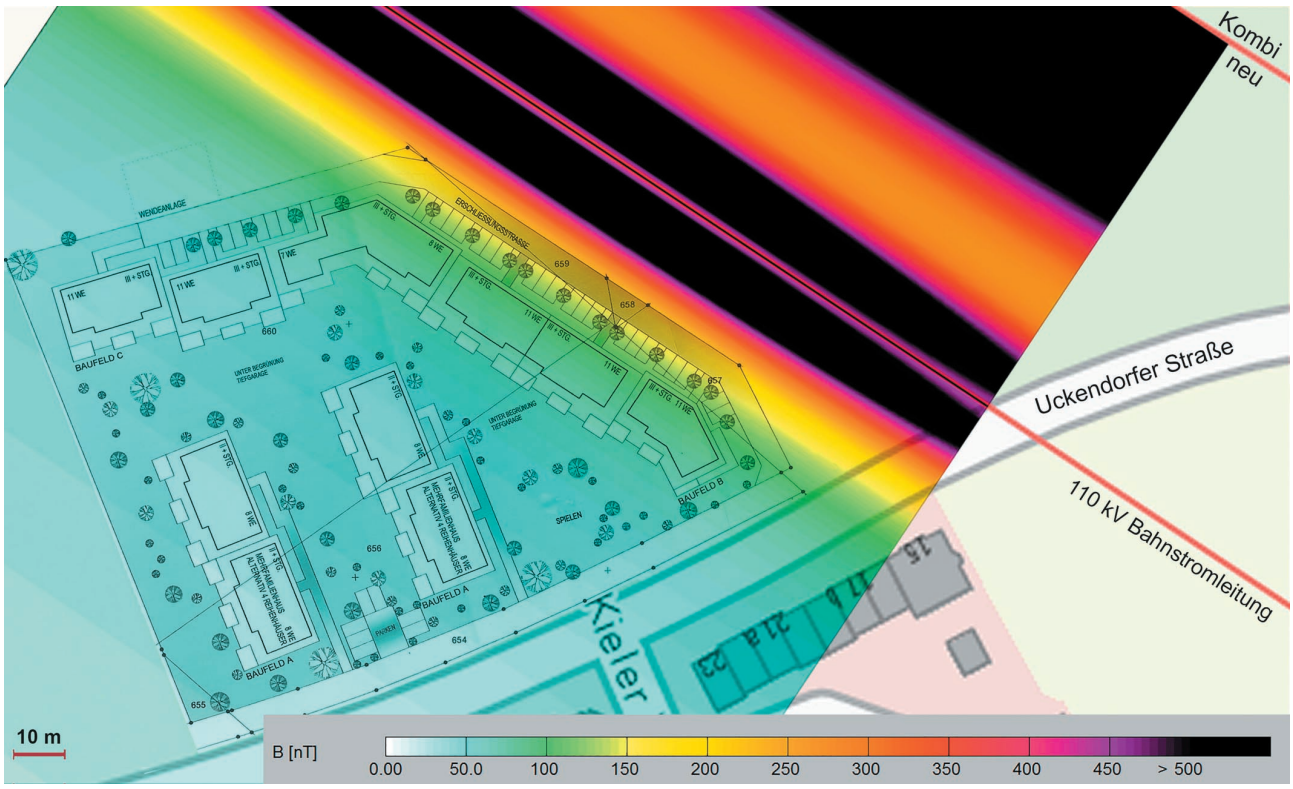


Abb. 15: *Neue Kombileitung nach Abb. 9. Verteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet bei einer* ***Auslastung von 20 %, Phasengeometrie optimiert***

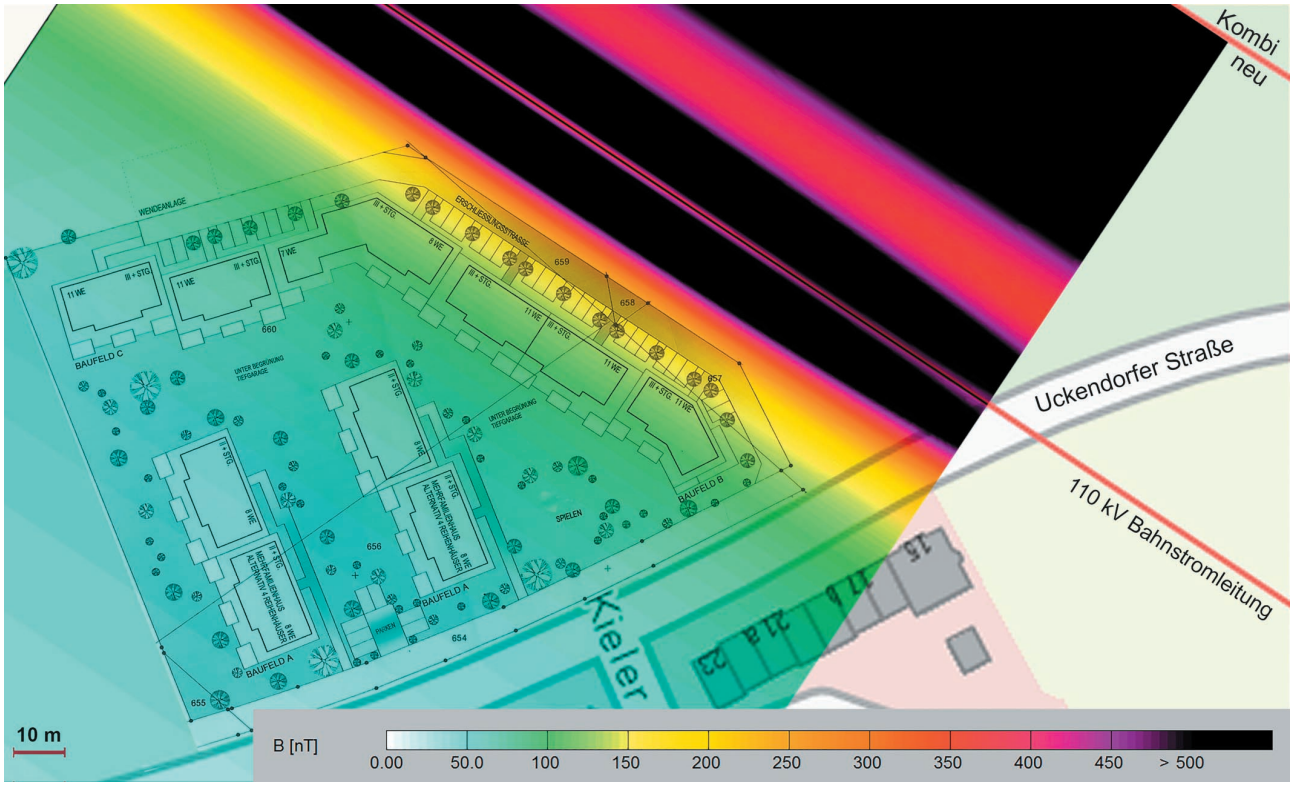


Abb. 16: *Neue Kombileitung nach Abb. 9. Verteilung der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet bei einer* ***Auslastung von 30 %, Phasengeometrie optimiert***

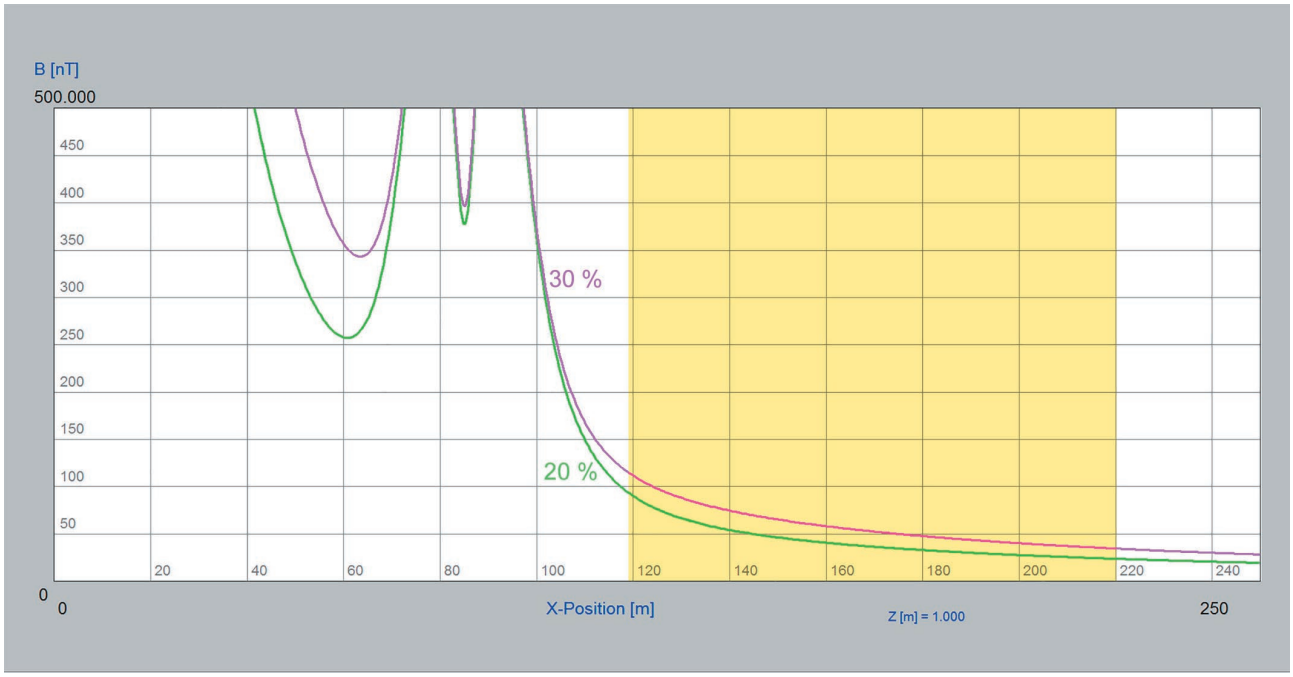


Abb. 17: *Verlauf der magnetischen Induktion auf dem Plangebiet (gelb) bei 20 % und 30 % Auslastung der neuen Leitung nach Abb. 9,* ***Phasengeometrie optimiert***

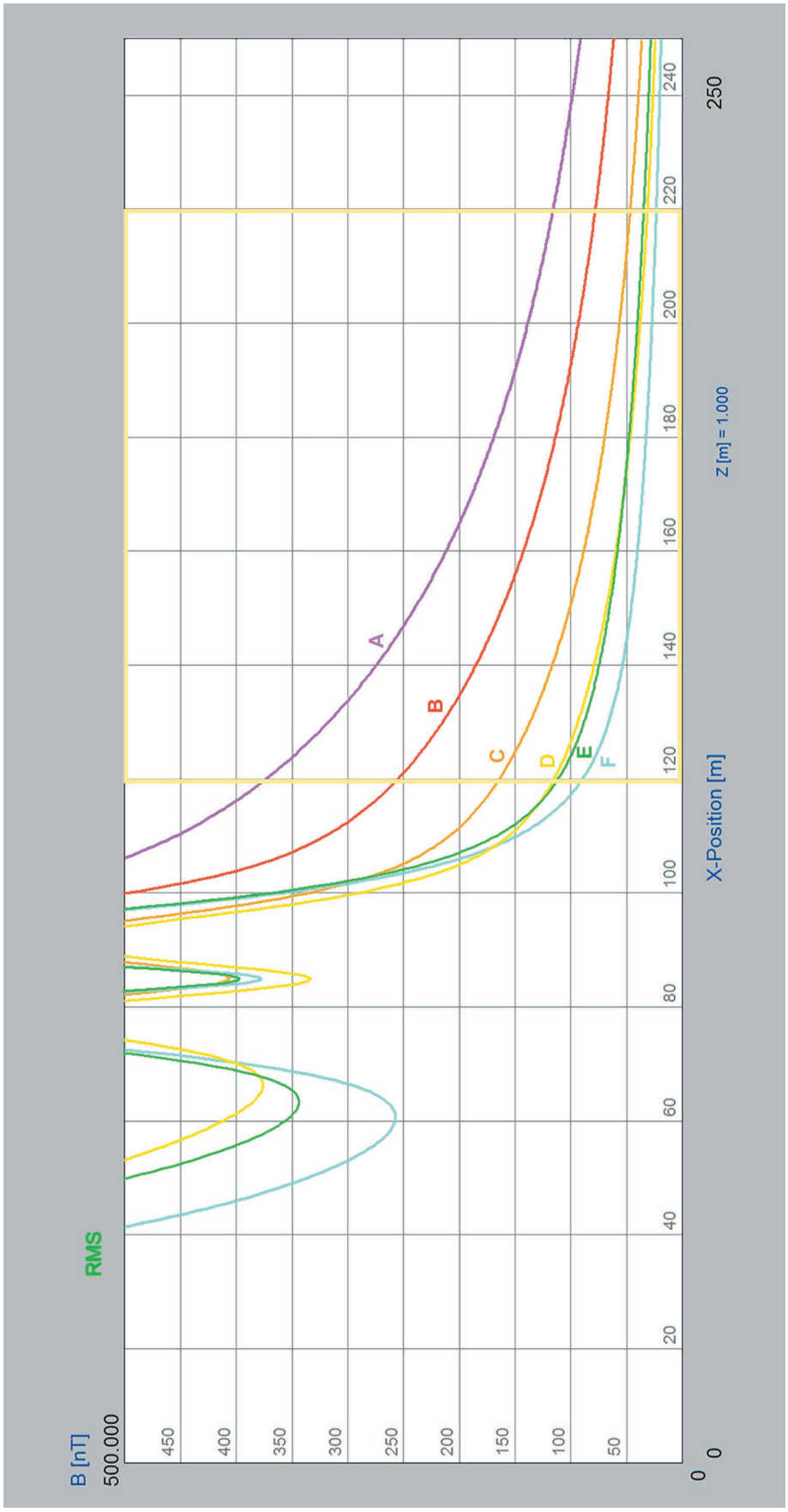


Abb. 18: *Zusammenfassung der Ergebnisse der X-Diagramme aus allen Simulationsberechnungen. Bereich des Plangebiets gelb umrahmt.*
A: Neue Leitung nach Abb. 9, 30 % Auslastung, Phasengeometrie Standard
B: Neue Leitung nach Abb. 9, 20 % Auslastung, Phasengeometrie Standard
C: Derzeitige Kombileitung, Auslastung 30 %
D: Derzeitige Kombileitung, Auslastung 20 %
E: Neue Leitung nach Abb. 9, 30 % Auslastung, Phasengeometrie optimiert
F: Neue Leitung nach Abb. 9, 20 % Auslastung, Phasengeometrie optimiert

schwächer sind als bei der derzeitigen Leitung. Zur Durchführung dieser Phasenoptimierung werden in den beiden **auf der Seite des Plangebietes** gelegenen 380 kV-Systemen die Phasen 2 (= 120°) mit 3 (= 240°) sowie 2 mit 1 (= 0°) getauscht. Mit dieser optimierten Phasengeomerie wurden die Berechnungen nach Kap. 3.2 erneut durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abb. 15 - 17 dargestellt.

Nach erfolgter Phasenoptimierung der Aufgerüsteten Leitung entsprechend Abb. 14 sind die zu erwartenden Immissionen durch Magnetfelder auf dem Plangebiet bei wesentlich größerer transportierter elektrischer Leistung überraschenderweise noch etwas niedriger als bei der heutigen vorhandenen Leitung. Bei einer Auslastung der neuen Leitung von 20 % wären auf dem Plangebiet maximale Immissionen von 95 nT zu erwarten, bei 30 % Auslastung wären es 120 nT.

5. Zusammenfassung

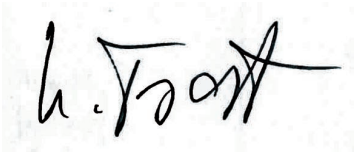
Zum Zeitpunkt der elektromagnetischen Immissionsmessungen vom 27. Juli 2016 auf dem Plangebiet an der Uckendorfer Straße war die benachbarte 110/220/380 kV-Hochspannungsleitung zu etwa 20 % ihrer Nennlast ausgelastet. Die mittlere Auslastung der benachbarten 110 kV-Bahnstromleitung betrug zum Zeitpunkt der Messungen etwa 11 % der Nennlast.

Auch bei einer Laststeigerung der vorhandenen 110/220/380 kV-Hochspannungsleitung auf 30 % bleiben die Immissionen durch Magnetfelder auf dem Plangebiet unter dem Vorsorgerichtwert 200 nT. Auslastungen über 30 % kommen im Normalbetrieb von Hochspannungsleitungen selten vor und werden aus Gründen der Wirtschaftlichkeit möglichst vermieden.

Nach Ersatz der vorhandenen 2x110/2x220/2x380 kV-Hochspannungsleitung durch eine stärkere 2x110/4x380 kV-Leitung können die Immissionen durch Magnetfelder auf dem Plangebiet schon bei einer Auslastung von 20 % den Vorsorgerichtwert 200 nT überschreiten, wenn die Phasengeometrie der neuen Leitung der Standardgeometrie entspricht.

Das Verfahren der Phasenoptimierung ermöglicht im Bereich einer Hochspannungsleitung meist eine erhebliche Senkung der Immissionen durch Magnetfelder.

Trotz der höheren Leistung einer neuen 2x110/4x380 kV-Leitung sind auf dem Plangebiet geringere magnetische Feldimmissionen zu erwarten als bei der jetzigen 2x110/2x220/2x380 kV-Leitung, wenn beim Bau der neuen Leitung eine Phasenoptimierung nach Kap. 3.3 durchgeführt wird.



Bonn, den 16. Januar 2017

Dr. Klaus Trost
Wissenschaftsladen Bonn e.V.

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	650.0	1.0	250.0	650.1	1.0	251	1.0	0.1	3

No. Rope	Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
1 X	-14.3	0.0	40.8	-14.3	405.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
2 X	-10.8	0.0	51.8	-10.8	405.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
3 X	-7.8	0.0	40.8	-7.8	405.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50
4 X	7.8	0.0	40.8	7.8	405.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
5 X	10.8	0.0	51.8	10.8	405.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
6 X	14.3	0.0	40.8	14.3	405.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50
7 X	-16.5	0.0	31.0	-16.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
8 X	-11.5	0.0	31.0	-11.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
9 X	-6.5	0.0	31.0	-6.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
10 X	6.5	0.0	31.0	6.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
11 X	11.5	0.0	31.0	11.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
12 X	16.5	0.0	31.0	16.5	405.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
13 X	-13.5	0.0	23.0	-13.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
14 X	-9.5	0.0	23.0	-9.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
15 X	-5.5	0.0	23.0	-5.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
16 X	5.5	0.0	23.0	5.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
17 X	9.5	0.0	23.0	9.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
18 X	13.5	0.0	23.0	13.5	405.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
19GX	0.0	0.0	66.8	0.0	405.0	66.8	51.8	0.0	20.9	342.1	5.7	1	0.0	50
20 X	-14.3	405.0	40.8	-14.3	810.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
21 X	-10.8	405.0	51.8	-10.8	810.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
22 X	-7.8	405.0	40.8	-7.8	810.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50
23 X	7.8	405.0	40.8	7.8	810.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
24 X	10.8	405.0	51.8	10.8	810.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
25 X	14.3	405.0	40.8	14.3	810.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50
26 X	-16.5	405.0	31.0	-16.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
27 X	-11.5	405.0	31.0	-11.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
28 X	-6.5	405.0	31.0	-6.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
29 X	6.5	405.0	31.0	6.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
30 X	11.5	405.0	31.0	11.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
31 X	16.5	405.0	31.0	16.5	810.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
32 X	-13.5	405.0	23.0	-13.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
33 X	-9.5	405.0	23.0	-9.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
34 X	-5.5	405.0	23.0	-5.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
35 X	5.5	405.0	23.0	5.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
36 X	9.5	405.0	23.0	9.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
37 X	13.5	405.0	23.0	13.5	810.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
38GX	0.0	405.0	66.8	0.0	810.0	66.8	51.8	0.0	20.9	342.1	5.7	1	0.0	50
39 X	-14.3	810.0	40.8	-14.3	1224.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
40 X	-10.8	810.0	51.8	-10.8	1224.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
41 X	-7.8	810.0	40.8	-7.8	1224.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50

Tabelle 1: *Berechnungsparameter der derzeitigen 110/220/380 kV-Kombileitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung*

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	650.0	1.0	250.0	650.1	1.0	251	1.0	0.1	3

No. Rope	Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
42 X	7.8	810.0	40.8	7.8	1224.0	40.8	25.9	380.0	325.0	0.0	10.9	4	0.4	50
43 X	10.8	810.0	51.8	10.8	1224.0	51.8	36.8	380.0	325.0	120.0	10.9	4	0.4	50
44 X	14.3	810.0	40.8	14.3	1224.0	40.8	25.9	380.0	325.0	240.0	10.9	4	0.4	50
45 X	-16.5	810.0	31.0	-16.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
46 X	-11.5	810.0	31.0	-11.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
47 X	-6.5	810.0	31.0	-6.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
48 X	6.5	810.0	31.0	6.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	0.0	10.9	2	0.4	50
49 X	11.5	810.0	31.0	11.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	120.0	10.9	2	0.4	50
50 X	16.5	810.0	31.0	16.5	1224.0	31.0	16.0	220.0	162.0	240.0	10.9	2	0.4	50
51 X	-13.5	810.0	23.0	-13.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
52 X	-9.5	810.0	23.0	-9.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
53 X	-5.5	810.0	23.0	-5.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
54 X	5.5	810.0	23.0	5.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	50
55 X	9.5	810.0	23.0	9.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	120.0	10.9	1	0.0	50
56 X	13.5	810.0	23.0	13.5	1224.0	23.0	8.0	110.0	82.0	240.0	10.9	1	0.0	50
57GX	0.0	810.0	66.8	0.0	1224.0	66.8	51.8	0.0	20.9	342.1	5.7	1	0.0	50
58 X	77.8	25.0	15.5	77.8	441.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
59 X	81.8	25.0	15.5	81.8	441.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
60 X	88.2	25.0	15.5	88.2	441.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
61 X	92.2	25.0	15.5	92.2	441.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
62GX	85.0	25.0	27.5	85.0	441.0	27.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
63 X	77.8	441.0	15.5	77.8	822.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
64 X	81.8	441.0	15.5	81.8	822.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
65 X	88.2	441.0	15.5	88.2	822.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
66 X	92.2	441.0	15.5	92.2	822.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
67GX	85.0	441.0	27.5	85.0	822.0	27.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
68 X	77.8	822.0	15.5	77.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
69 X	81.8	822.0	15.5	81.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
70 X	88.2	822.0	15.5	88.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	82.0	0.0	10.9	1	0.0	17
71 X	92.2	822.0	15.5	92.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	82.0	180.0	10.9	1	0.0	17
72GX	85.0	822.0	27.5	85.0	1134.0	27.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17

Tabelle 1 Fortsetzung: *Berechnungsparameter der derzeitigen 110/220/380 kV-Kombileitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung*

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	540.0	1.0	260.0	735.0	1.0	521	0.5	0.5	391

No. Rope	Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
1 X	-18.0	0.0	40.3	-18.0	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
2 X	-15.0	0.0	29.9	-15.0	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
3 X	-14.5	0.0	51.8	-14.5	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
4 X	-11.5	0.0	40.3	-11.5	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
5 X	-8.5	0.0	29.9	-8.5	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
6 X	-8.0	0.0	51.8	-8.0	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
7 X	8.0	0.0	51.8	8.0	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
8 X	8.5	0.0	29.9	8.5	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
9 X	11.5	0.0	40.3	11.5	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
10 X	14.5	0.0	51.8	14.5	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
11 X	15.0	0.0	29.9	15.0	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
12 X	18.0	0.0	40.3	18.0	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
13 X	-13.5	0.0	18.0	-13.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
14 X	-9.5	0.0	18.0	-9.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
15 X	-5.5	0.0	18.0	-5.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
16 X	5.5	0.0	18.0	5.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
17 X	9.5	0.0	18.0	9.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
18 X	13.5	0.0	18.0	13.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
19GX	0.0	0.0	72.0	0.0	405.0	72.0	61.5	0.0	32.9	161.9	5.7	1	0.0	50
20 X	-18.0	405.0	40.3	-18.0	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
21 X	-15.0	405.0	29.9	-15.0	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
22 X	-14.5	405.0	51.8	-14.5	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
23 X	-11.5	405.0	40.3	-11.5	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
24 X	-8.5	405.0	29.9	-8.5	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
25 X	-8.0	405.0	51.8	-8.0	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
26 X	8.0	405.0	51.8	8.0	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
27 X	8.5	405.0	29.9	8.5	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
28 X	11.5	405.0	40.3	11.5	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
29 X	14.5	405.0	51.8	14.5	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
30 X	15.0	405.0	29.9	15.0	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
31 X	18.0	405.0	40.3	18.0	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
32 X	-13.5	405.0	18.0	-13.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
33 X	-9.5	405.0	18.0	-9.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
34 X	-5.5	405.0	18.0	-5.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
35 X	5.5	405.0	18.0	5.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
36 X	9.5	405.0	18.0	9.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
37 X	13.5	405.0	18.0	13.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
38GX	0.0	405.0	72.0	0.0	810.0	72.0	61.5	0.0	32.9	161.9	5.7	1	0.0	50
39 X	-18.0	810.0	40.3	-18.0	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
40 X	-15.0	810.0	29.9	-15.0	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
41 X	-14.5	810.0	51.8	-14.5	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50

Tabelle 2:** Berechnungsparameter der neuen 2x110/4x380 kV-Hochspannungsleitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung **Phasengeometrie Standard

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	540.0	1.0	260.0	735.0	1.0	521	0.5	0.5	391

No. Rope	Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
42 X	-11.5	810.0	40.3	-11.5	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
43 X	-8.5	810.0	29.9	-8.5	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
44 X	-8.0	810.0	51.8	-8.0	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
45 X	8.0	810.0	51.8	8.0	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
46 X	8.5	810.0	29.9	8.5	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
47 X	11.5	810.0	40.3	11.5	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
48 X	14.5	810.0	51.8	14.5	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
49 X	15.0	810.0	29.9	15.0	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
50 X	18.0	810.0	40.3	18.0	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
51 X	-13.5	810.0	18.0	-13.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
52 X	-9.5	810.0	18.0	-9.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
53 X	-5.5	810.0	18.0	-5.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
54 X	5.5	810.0	18.0	5.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
55 X	9.5	810.0	18.0	9.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
56 X	13.5	810.0	18.0	13.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
57GX	0.0	810.0	72.0	0.0	1224.0	72.0	61.5	0.0	32.9	161.9	5.7	1	0.0	50
58 X	77.8	25.0	15.5	77.8	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
59 X	81.8	25.0	15.5	81.8	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
60 X	88.2	25.0	15.5	88.2	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
61 X	92.2	25.0	15.5	92.2	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
62GX	85.0	25.0	23.5	85.0	441.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
63 X	77.8	441.0	15.5	77.8	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
64 X	81.8	441.0	15.5	81.8	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
65 X	88.2	441.0	15.5	88.2	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
66 X	92.2	441.0	15.5	92.2	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
67GX	85.0	441.0	23.5	85.0	822.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
68 X	77.8	822.0	15.5	77.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
69 X	81.8	822.0	15.5	81.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
70 X	88.2	822.0	15.5	88.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
71 X	92.2	822.0	15.5	92.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
72GX	85.0	822.0	23.5	85.0	1134.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17

Tabelle 2 Fortsetzung: *Berechnungsparameter der neuen 2x110/4x380 kV-Hochspannungsleitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung.* ***Phasengeometrie Standard***

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	540.0	1.0	260.0	735.0	1.0	521	0.5	0.5	391

No. Rope	Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
1 X	-18.0	0.0	40.3	-18.0	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
2 X	-15.0	0.0	29.9	-15.0	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
3 X	-14.5	0.0	51.8	-14.5	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
4 X	-11.5	0.0	40.3	-11.5	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
5 X	-8.5	0.0	29.9	-8.5	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
6 X	-8.0	0.0	51.8	-8.0	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
7 X	8.0	0.0	51.8	8.0	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
8 X	8.5	0.0	29.9	8.5	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
9 X	11.5	0.0	40.3	11.5	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
10 X	14.5	0.0	51.8	14.5	405.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
11 X	15.0	0.0	29.9	15.0	405.0	29.9	20.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
12 X	18.0	0.0	40.3	18.0	405.0	40.3	30.5	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
13 X	-13.5	0.0	18.0	-13.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
14 X	-9.5	0.0	18.0	-9.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
15 X	-5.5	0.0	18.0	-5.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
16 X	5.5	0.0	18.0	5.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
17 X	9.5	0.0	18.0	9.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
18 X	13.5	0.0	18.0	13.5	405.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
19GX	0.0	0.0	72.0	0.0	405.0	72.0	61.5	0.0	10.8	114.9	5.7	1	0.0	50
20 X	-18.0	405.0	40.3	-18.0	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
21 X	-15.0	405.0	29.9	-15.0	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
22 X	-14.5	405.0	51.8	-14.5	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
23 X	-11.5	405.0	40.3	-11.5	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
24 X	-8.5	405.0	29.9	-8.5	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
25 X	-8.0	405.0	51.8	-8.0	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
26 X	8.0	405.0	51.8	8.0	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
27 X	8.5	405.0	29.9	8.5	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
28 X	11.5	405.0	40.3	11.5	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
29 X	14.5	405.0	51.8	14.5	810.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
30 X	15.0	405.0	29.9	15.0	810.0	29.9	20.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
31 X	18.0	405.0	40.3	18.0	810.0	40.3	30.5	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
32 X	-13.5	405.0	18.0	-13.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
33 X	-9.5	405.0	18.0	-9.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
34 X	-5.5	405.0	18.0	-5.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
35 X	5.5	405.0	18.0	5.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
36 X	9.5	405.0	18.0	9.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
37 X	13.5	405.0	18.0	13.5	810.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
38GX	0.0	405.0	72.0	0.0	810.0	72.0	61.5	0.0	10.8	114.9	5.7	1	0.0	50
39 X	-18.0	810.0	40.3	-18.0	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
40 X	-15.0	810.0	29.9	-15.0	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
41 X	-14.5	810.0	51.8	-14.5	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50

Tabelle 3:** Berechnungsparameter der neuen 2x110/4x380 kV-Hochspannungsleitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung* ***Phasengeometrie optimiert

Para. No.	Number Ropes	Segments p.Ropes	Startpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Endpoint X[m]	Y[m]	Z[m]	Number Points	dx-Size [m]	dy_Size [m]	Number of Rows
0	72	1	0.0	540.0	1.0	260.0	735.0	1.0	521	0.5	0.5	391

No. Rope		Startcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Endcoordinates X[m]	Y[m]	Z[m]	Height [m]	Voltage [kV]	Current [A]	Phase [°]	Rope Radius [mm]	No. Subr.	Dist. Subr. [m]	Freq-uency [Hz]
42	X	-11.5	810.0	40.3	-11.5	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
43	X	-8.5	810.0	29.9	-8.5	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
44	X	-8.0	810.0	51.8	-8.0	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
45	X	8.0	810.0	51.8	8.0	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
46	X	8.5	810.0	29.9	8.5	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
47	X	11.5	810.0	40.3	11.5	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
48	X	14.5	810.0	51.8	14.5	1224.0	51.8	42.0	380.0	260.0	0.0	10.9	4	0.4	50
49	X	15.0	810.0	29.9	15.0	1224.0	29.9	20.0	380.0	260.0	240.0	10.9	4	0.4	50
50	X	18.0	810.0	40.3	18.0	1224.0	40.3	30.5	380.0	260.0	120.0	10.9	4	0.4	50
51	X	-13.5	810.0	18.0	-13.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
52	X	-9.5	810.0	18.0	-9.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
53	X	-5.5	810.0	18.0	-5.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
54	X	5.5	810.0	18.0	5.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	0.0	10.9	1	0.0	50
55	X	9.5	810.0	18.0	9.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	120.0	10.9	1	0.0	50
56	X	13.5	810.0	18.0	13.5	1224.0	18.0	8.0	110.0	65.0	240.0	10.9	1	0.0	50
57	GX	0.0	810.0	72.0	0.0	1224.0	72.0	61.5	0.0	10.8	114.9	5.7	1	0.0	50
58	X	77.8	25.0	15.5	77.8	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
59	X	81.8	25.0	15.5	81.8	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
60	X	88.2	25.0	15.5	88.2	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
61	X	92.2	25.0	15.5	92.2	441.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
62	GX	85.0	25.0	23.5	85.0	441.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
63	X	77.8	441.0	15.5	77.8	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
64	X	81.8	441.0	15.5	81.8	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
65	X	88.2	441.0	15.5	88.2	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
66	X	92.2	441.0	15.5	92.2	822.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
67	GX	85.0	441.0	23.5	85.0	822.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17
68	X	77.8	822.0	15.5	77.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
69	X	81.8	822.0	15.5	81.8	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
70	X	88.2	822.0	15.5	88.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	0.0	10.9	1	0.0	17
71	X	92.2	822.0	15.5	92.2	1134.0	15.5	8.0	110.0	50.0	180.0	10.9	1	0.0	17
72	GX	85.0	822.0	23.5	85.0	1134.0	23.5	15.0	0.0	0.0	0.0	5.7	1	0.0	17

Tabelle 3 Fortsetzung: *Berechnungsparameter der neuen 2x110/4x380 kV-Hochspannungsleitung sowie der 110 kV-Bahnstromleitung.* ***Phasengeometrie optimiert***