

Gutachterliche Einschätzung der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke des Standardmastfeldes

380-kV-Freileitung (Baureihe AD86/19/21 / AD86/19/32)

Gutachterliche Einschätzung

Im Auftrag von 50Hertz Transmission GmbH, Heidestraße 2, 10557 Berlin

M.Sc. Sven Hennig



unabhängiger Sachverständiger für „Elektromagnetische Umweltverträglichkeit - EMVU“

Berlin - 26.03.2025

Anzahl der Seiten einschließlich Titelseite: 19

A-10603a / 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 des Standardmastfeldes.....	4
3. Prüfstufen	6
3.1. Prüfstufe 1	7
3.1.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 1: kein maßgeblicher Immissionsort vorhanden.....	8
3.1.2. Prüfungsergebnis Prüfstufe 1: maßgebliche Immissionsorte vorhanden.....	8
3.2. Prüfstufe 2	9
3.2.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 2	9
3.3. Prüfstufe 3	11
3.3.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 a): Verschiebung des Masten in Richtung des Immissionsortes	12
3.3.2. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 b): Erhöhung des Masten (in z- Richtung)	14
3.3.3. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 c): Leiterseilerhöhung allgemein	16
3.4. Prüfstufe 4	19

1. Einleitung

Nachfolgend wird ein Verfahren vorgestellt um die möglichen Immissionen einer 380-kV-Freileitung auch ohne konkrete Trassierung und Mastausteilung zur sicheren Seite hin (worst-case) abschätzen zu können. Die Ergebnisse sind grundsätzlich für 380-kV-Freileitungen mit Masten der Baureihe AD86/19/21 / AD86/19/32 anwendbar.

2. Parameter des Standardmastfeldes

Zugrunde gelegt wird ein vereinfachtes geometrisches Modell ohne Berücksichtigung eines Bodenprofils. Die Einsatz-Parameter des Standardmastfeldes entsprechen der Übertragungsaufgabe. Die dafür notwendigen Masten und Leiterseilquerschnitte mit den seilstatistischen Durchhängen sind jeweils zugrundegelegt. Die Parameter (max. Spannung, max. Stromstärke, ungünstigste Leiterfolge) des Standardmastfeldes sind so gewählt, dass die Emissionen möglichst hoch sind (worst-case-Abschätzung).

Masttyp:	AD86/19/21 WA4 + 15 (mit 110-kV-Mitnahme) bzw. AD86/19/32 WA4 + 15 (mit 110-kV-Mitnahme) ^{*)}
Mastfeldlänge:	500 m
Unterster Leiter am Mast:	47,2 m (380-kV) 39,4 m (110-kV)
Minimaler Bodenabstand:	15,3 m (380-kV) 7,5 m (110-kV)
Maximaler Stromfluss:	4000 A (380-kV) 680 A (110-kV)
Nennspannung:	380-kV (gerechnet mit 420-kV) 110-kV (gerechnet mit 123-kV)
Phasenbelegung:	123 123 (380-kV, worst-case-Phasenlage) 213 213 (110-kV, worst-case-Phasenlage) 123 312 (380-kV, worst-case-Phasenlage, B-Feld Höhe) 213 132 (110-kV, worst-case-Phasenlage, B-Feld Höhe)
Leiterseil:	2 x 3 x 4 x 550-AL1/71-ST1A (380-kV) 2 x 3 x 1 x 264-AL1/34-ST1A (110-kV)
Bewertungshöhe:	8,4 m über dem Boden (entspricht im Regelfall drei bewohnten Etagen bzw. dem 2. Obergeschoss (OG)).

^{*)} Der AD86/19/32 ist statisch für die Windlastzone 3 und Eislastzone 2 ausgelegt. Die Änderungen gegenüber dem AD86/19/21 betreffen nur die Stahlbaukonstruktion des Masten und haben nahezu keinen Einfluss auf die Berechnung der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke. Die Ergebnisse sind daher auf beide Baureihen gleichermaßen anwendbar.

Im Allgemeinen wird für die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke eine Bewertungshöhe von 1 m über dem Boden angesetzt, vgl. Nr. III.2.4 der LAI-Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV. Die Bewertungshöhe von 8,4 m wurde gewählt, um auch Immissionsorte innerhalb von Gebäuden (magnetische Flussdichte) oder beispielsweise auf Dachterrassen (elektrische Feldstärke) zu berücksichtigen. Da die tatsächlichen Höhen der Immissionsorte häufig unterhalb von 8,4 m liegen (beispielsweise Grundstücke oder eingeschossige Gebäude), werden auch durch die Festlegung der Bewertungshöhe auf 8,4 m die Immissionen nach oben hin abgeschätzt.

3. Prüfstufen

Zur Abschätzung der Immissionen an den jeweiligen Immissionsorten gibt es insgesamt vier Prüfstufen welche, unter Zuhilfenahme des Standardmastfeldes, durchlaufen werden. Das Prüfschema ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

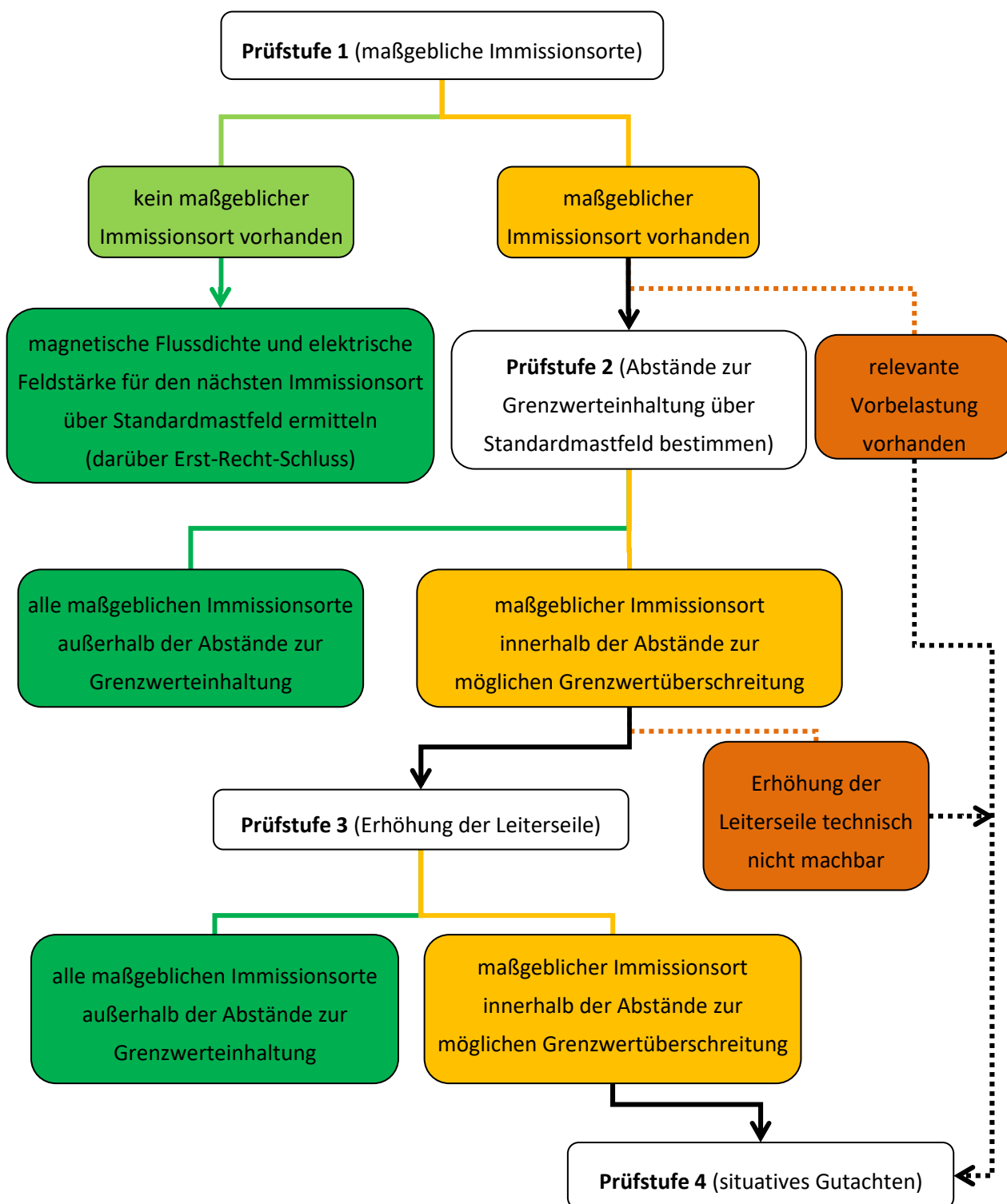


Abbildung 1: Schema für die Prüfung mit dem Standardmastfeld

3.1. Prüfstufe 1

Prüfung, ob bezüglich der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke (EMF) maßgebliche Immissionsorte vorliegen. Dies ist gemäß Nr. II.3.1 der LAI-Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV dann der Fall, wenn Orte die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind in einem Abstand von höchstens 20 m von den ruhenden, äußeren Leiterseilen entfernt liegen. Bezogen auf die Baureihe AD86/19/21 (als Winkelabspannmast WA4) beträgt der Abstand des ruhenden äußeren Leiterseils 21,5 m. Addiert mit den 20 m ergeben sich 41,5 m links und rechts der potentiellen Trassenachse (siehe Abbildung 2 sowie Abbildung 3 in denen beispielhaft Gebäude dargestellt sind).

SMF 380-kV-Freileitung: Abstand für maßgebliche Immissionsorte

AD86/19/21 WA4

Y-Position [m]

40

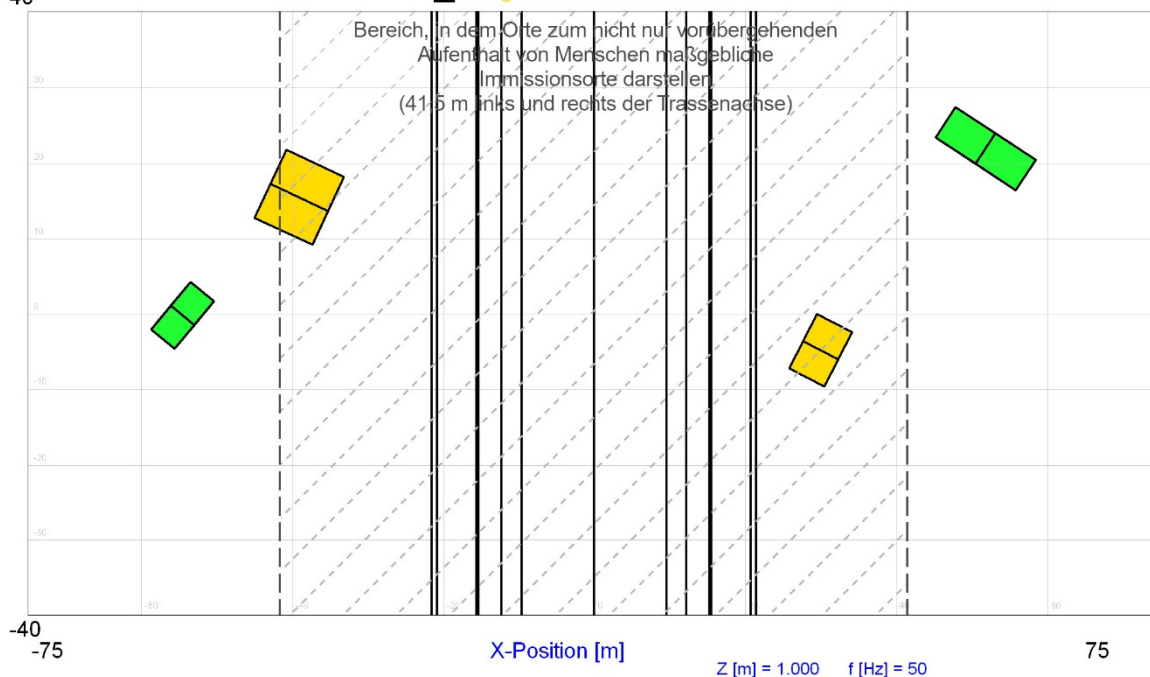


Abbildung 2: Bereich, in dem Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen maßgebliche Immissionsorte darstellen (Draufsicht)

SMF 380-kV-Freileitung: Abstand für maßgebliche Immissionsorte

AD86/19/21 WA4

Z-Position [m]

80

■ kein maßgeblicher Immissionsort
 ■ maßgeblicher Immissionsort

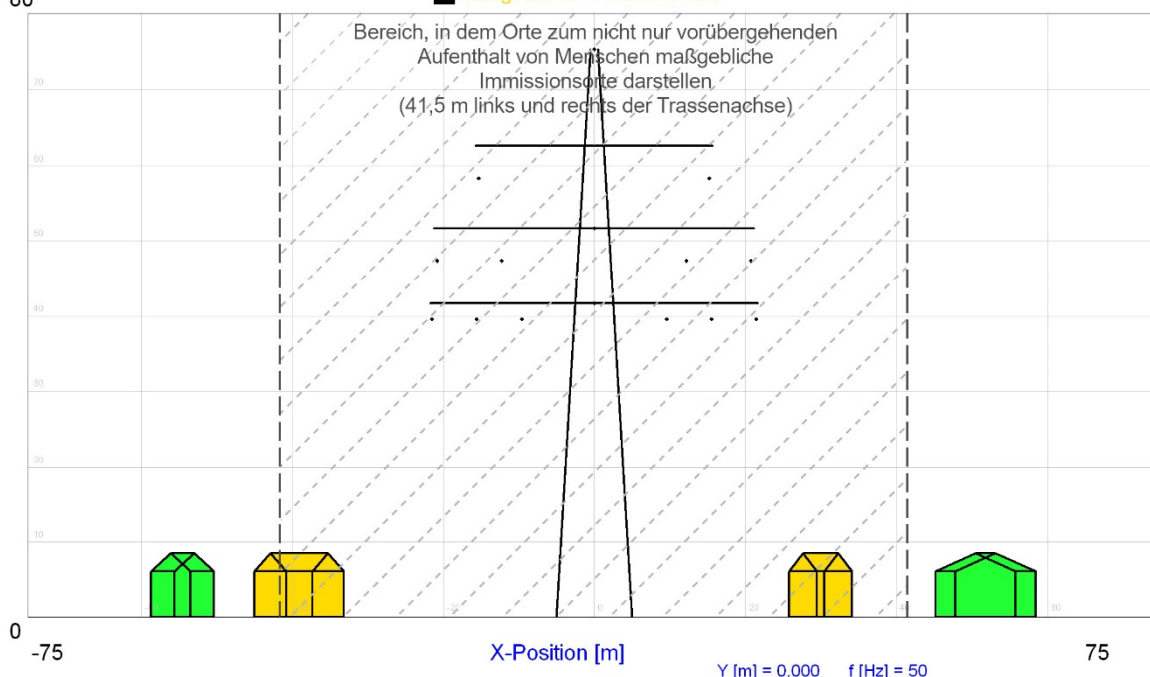


Abbildung 3: Bereich, in dem Orte zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen maßgebliche Immissionsorte darstellen (Schnittansicht)

3.1.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 1: kein maßgeblicher Immissionsort vorhanden

Wenn kein maßgeblicher Immissionsort vorhanden ist kann gemäß Nr. 5.1.3 1b) der Handlungsempfehlungen für EMF- und Schallgutachten zu Hoch- und Höchstspannungstrassen in Bundesfachplanungs-, Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren vom 27. Januar 2022 davon ausgegangen werden, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke nehmen schnell mit der Entfernung zur Emissionsquelle (Leiterseile der Freileitung) ab. Alle weiteren Prüfstufen können in diesem Fall übersprungen werden. Stattdessen wird vorsorglich die magnetische Flussdichte und die elektrische Feldstärke für den nächstliegenden Immissionsort anhand des Standardmastfeldes ermittelt. Da die Grenzwerte hier eingehalten werden, kann davon ausgegangen werden, dass dies erst recht für alle weiter entfernt liegenden Immissionsorte ebenfalls gilt (Erst-Recht-Schluss).

3.1.2. Prüfungsergebnis Prüfstufe 1: maßgebliche Immissionsorte vorhanden

Es muss geprüft werden, ob es eine zu berücksichtigende Vorbelastung gibt, welche durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz, die einer Standortbescheinigung bedürfen, hervorgerufen werden. Gibt es eine solche Vorbelastung muss im Regelfall ein situatives Gutachten erstellt werden (siehe 3.4 Prüfstufe 4). Gibt es keine zu berücksichtigende

Vorbelastung wird das Standardmastfeld verwendet, welches die möglichen Immissionen nach oben hin abschätzt (worst-case-Ansatz) und mit Prüfstufe 2 fortgefahren.

3.2. Prüfstufe 2

Mit Hilfe des Standardmastfeldes werden die Abstände (horizontal und vertikal) ermittelt, in welchen eine Grenzwertüberschreitung möglich ist.

3.2.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 2

Magnetische Flussdichte: Der effektiv anzuwendende Grenzwert der magnetischen Flussdichte von 100 μT wird ab 27,5 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 4,0 m wird der Grenzwert überall unterschritten (auch direkt unterhalb der Leiterseile). In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die Ergebnisse dargestellt.

Elektrische Feldstärke: Der Grenzwert der elektrischen Feldstärke von 5 kV/m wird ab 29,5 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 3,0 m wird der Grenzwert überall unterschritten (eine Einhaltung auf Grundstücken ist somit stets gegeben), siehe Abbildung 6. Das elektrische Feld wird im Gegensatz zum magnetischen Feld sehr gut von den Außenwänden von Gebäuden abgeschirmt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die elektrische Feldstärke innerhalb von Gebäuden, welche durch die Freileitung hervorgerufen wird, 0 kV/m ist. Relevant kann die elektrische Feldstärke auch für Gebäude allerdings dann werden, wenn die Gebäude begehbare Dachflächen, Dachterrassen oder Balkone besitzen.

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte in Mastfeldmitte
 Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 7.5 m (110-kV), 15.3 m (380-kV)

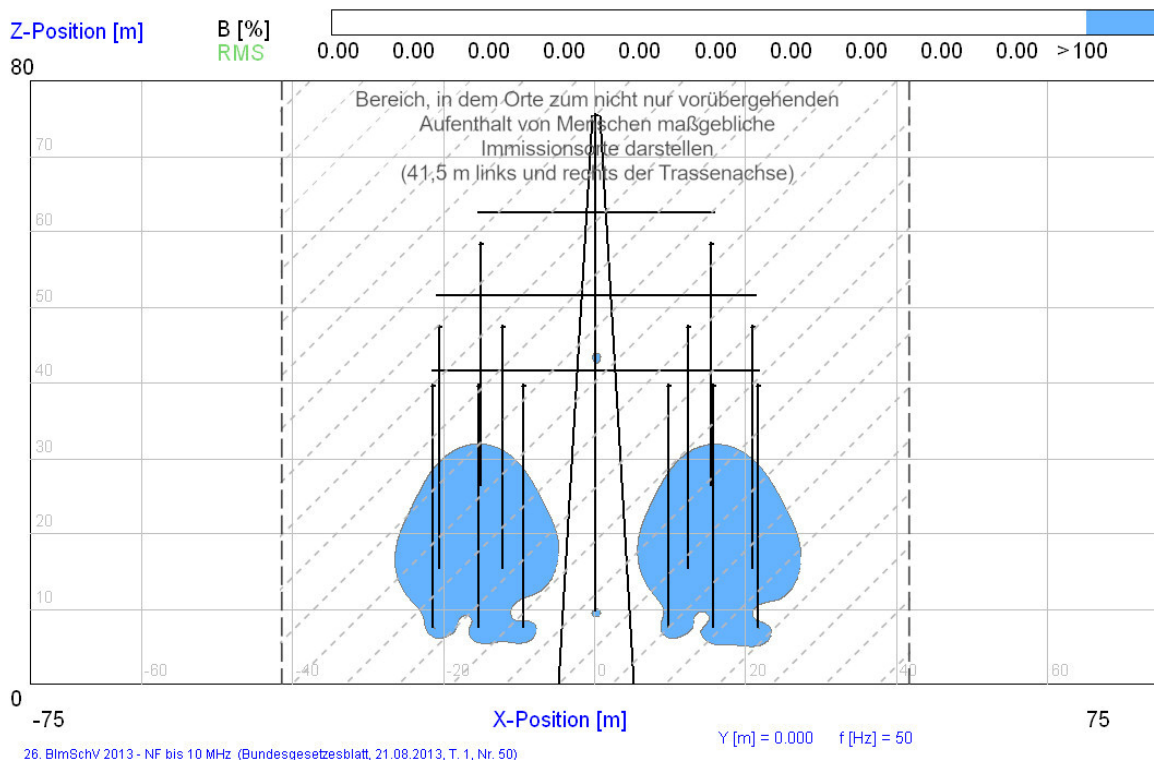


Abbildung 4: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 2 eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 123 (380-kV), 213 | 213 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte in Mastfeldmitte
 Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 7.5 m (110-kV), 15.3 m (380-kV)

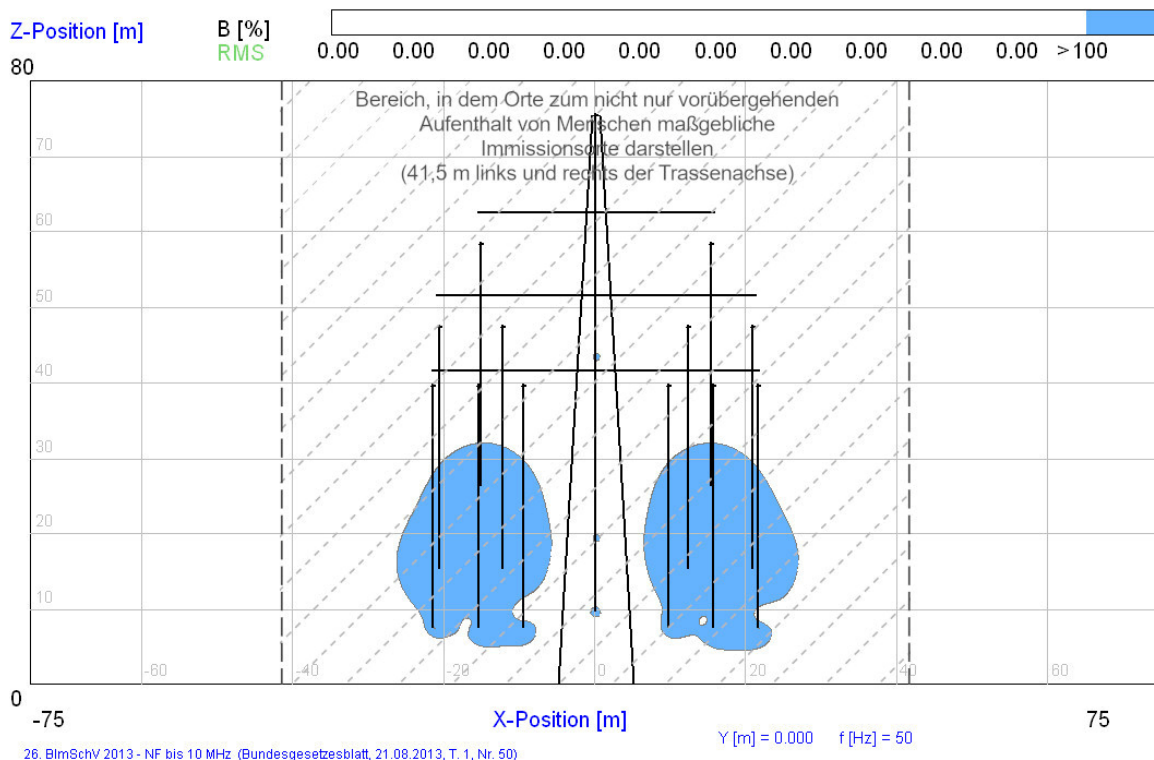


Abbildung 5: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 2 eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 312 (380-kV), 213 | 132 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: elektrische Feldstärke in Mastfeldmitte
 Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 7.5 m (110-kV), 15.3 m (380-kV)

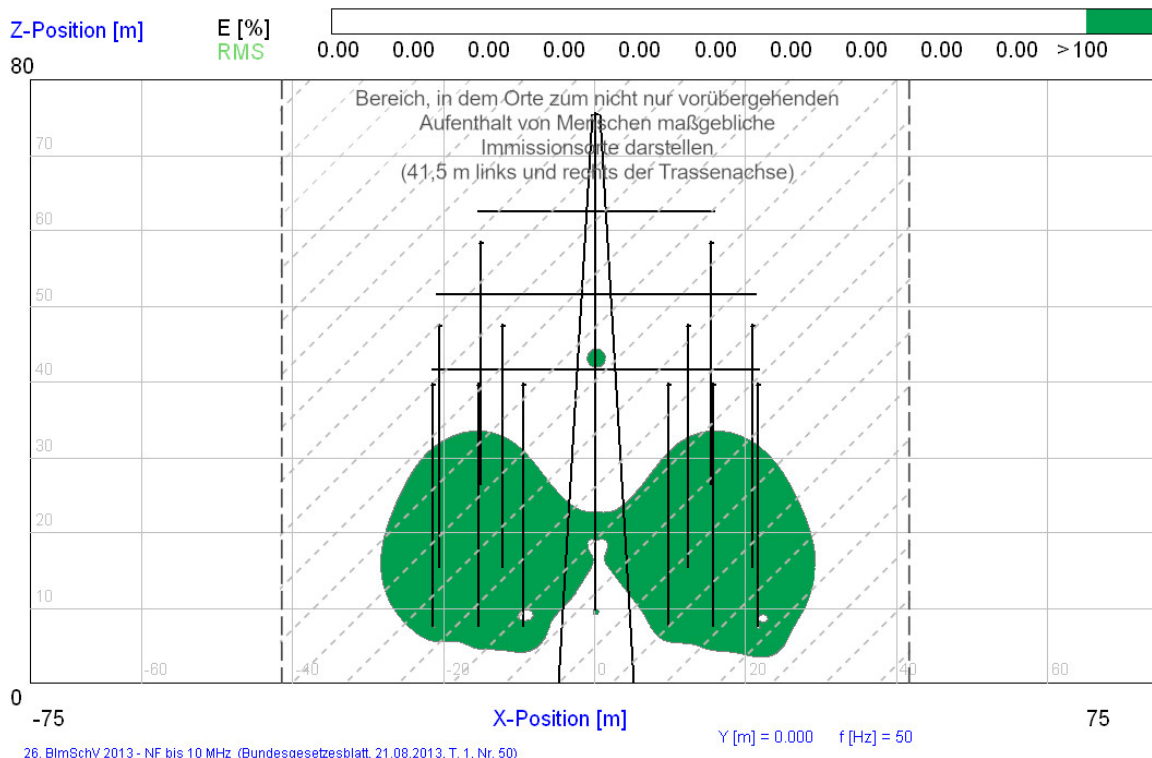


Abbildung 6: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 2 eine Grenzwertüberschreitung der elektrischen Feldstärke möglich ist (grün gekennzeichnet)

3.3. Prüfstufe 3

Gibt es Immissionsorte, welche in dem Bereich liegen, in welchem gemäß dem Standardmastfeld eine Überschreitung der Grenzwerte möglich ist (innerhalb der farbigen Flächen in Abbildung 4 bis Abbildung 6), wird geprüft, ob eine Erhöhung der Leiterseile ausreicht, um mit Hilfe des so modifizierten Standardmastfeldes eine Grenzwertunterschreitung für die Immissionsorte zu prognostizieren. Eine Erhöhung der Leiterseile kann erreicht werden durch

- Verschiebung des Masten auf der Achse der potentiellen Trasse in Richtung des Immissionsortes,
- Erhöhung des Masten (in z-Richtung) oder durch
- eine Kombination von a) und b), siehe Abbildung 7.

Für die Berechnung wurden verschiedene Leiterseilhöhen verwendet (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Je höher die Masten sind, desto höher sind die technischen Aufwendungen für die Umsetzung. Wenn die Leiterseile stärker erhöht werden müssten, als dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist, muss stattdessen ein situatives Gutachten erstellt werden (siehe 3.4 Prüfstufe 4). Sowohl bei Mastverschiebung als auch Masterrhöhung muss darüber hinaus die technische Machbarkeit gegeben sein und die Auswirkung auf andere Belange geprüft werden.

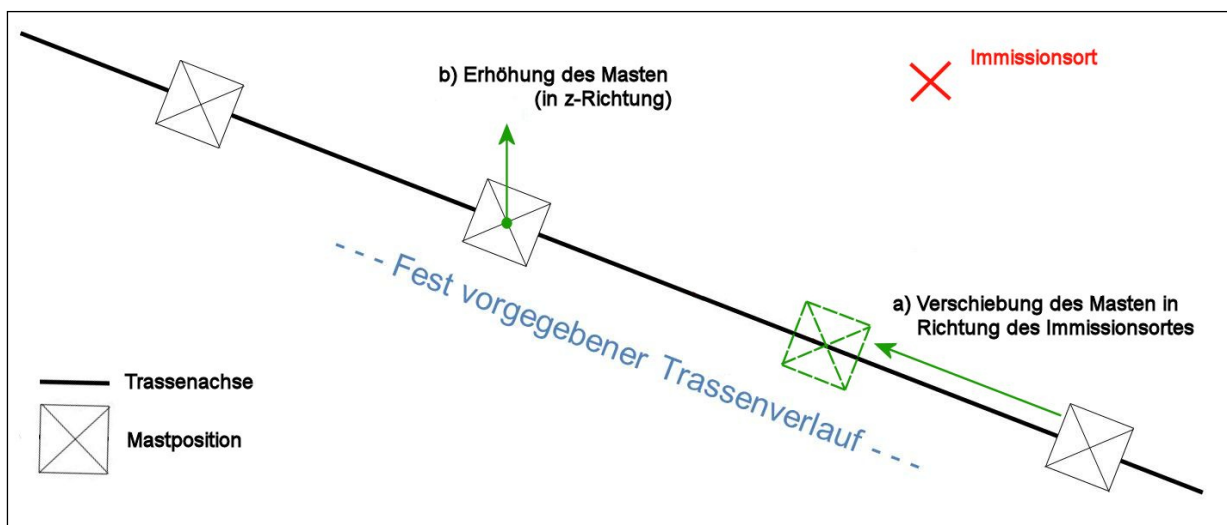


Abbildung 7: Möglichkeiten der Modifikation für Prüfstufe 3

3.3.1. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 a): Verschiebung des Masten in Richtung des Immissionsortes

Bei einem beispielhaften Bodenabstand der Leiterseile von 47,2 m ergeben sich folgende Abstände für die Grenzwertunterschreitungen:

Magnetische Flussdichte: Der effektiv anzuwendende Grenzwert der magnetischen Flussdichte von 100 μT wird ab 27,0 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 35,0 m wird der Grenzwert überall unterschritten, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9.

Elektrische Feldstärke: Der Grenzwert der elektrischen Feldstärke von 5 kV/m wird ab 29,0 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 35,0 m wird der Grenzwert überall unterschritten, siehe Abbildung 10.

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte im Mastbereich
Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 39.4 m (110-kV), 47.2 m (380-kV)

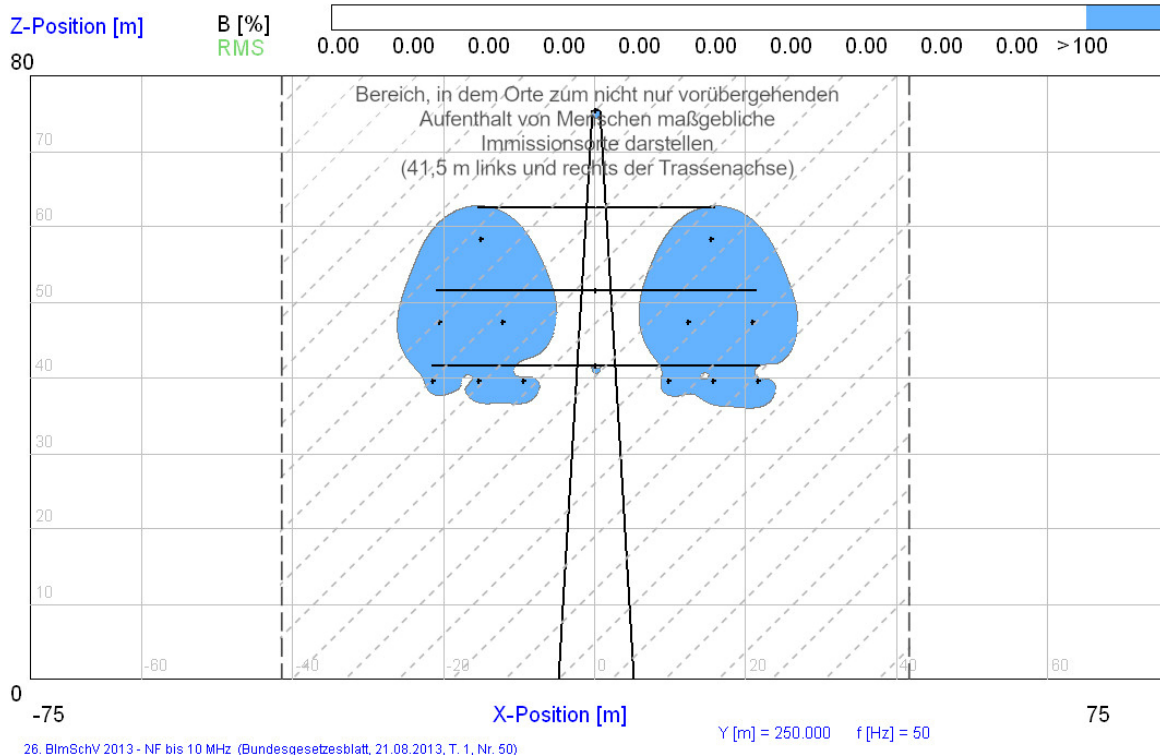


Abbildung 8: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 a) eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 123 (380-kV), 213 | 213 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte im Mastbereich
Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 39.4 m (110-kV), 47.2 m (380-kV)

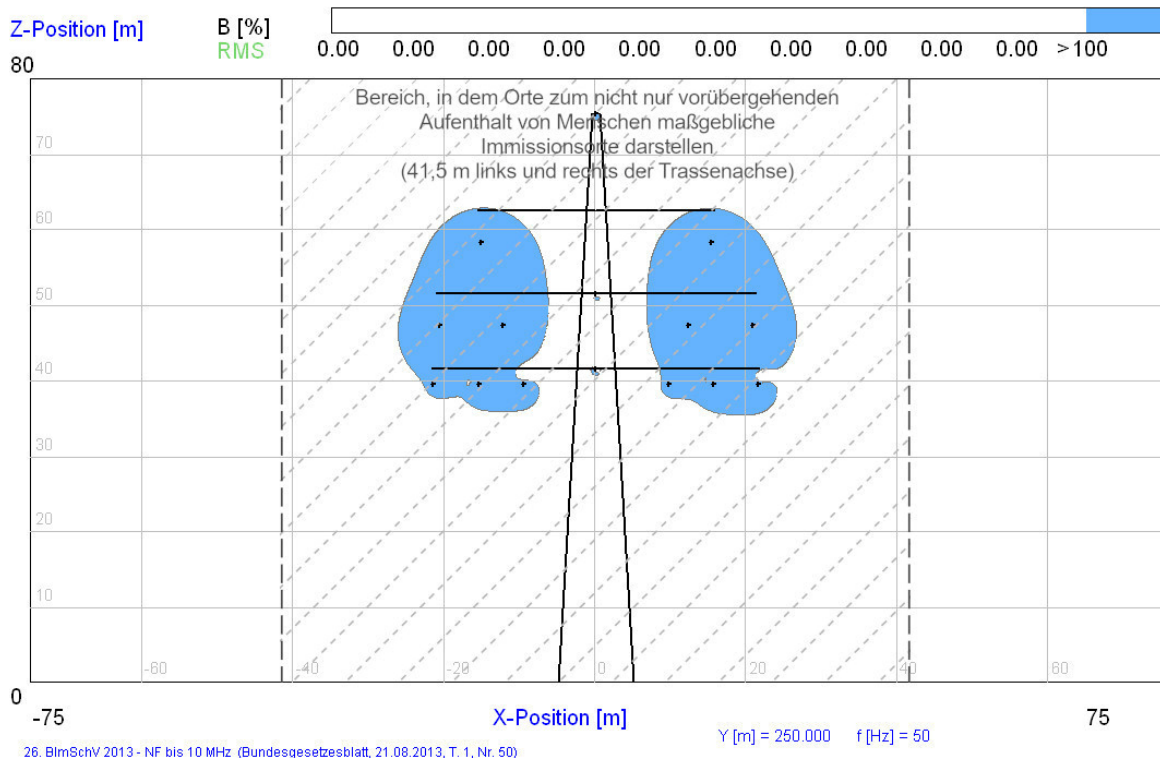


Abbildung 9: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 a) eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 312 (380-kV), 213 | 132 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: elektrische Feldstärke im Mastbereich
 Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 39.4 m (110-kV), 47.2 m (380-kV)

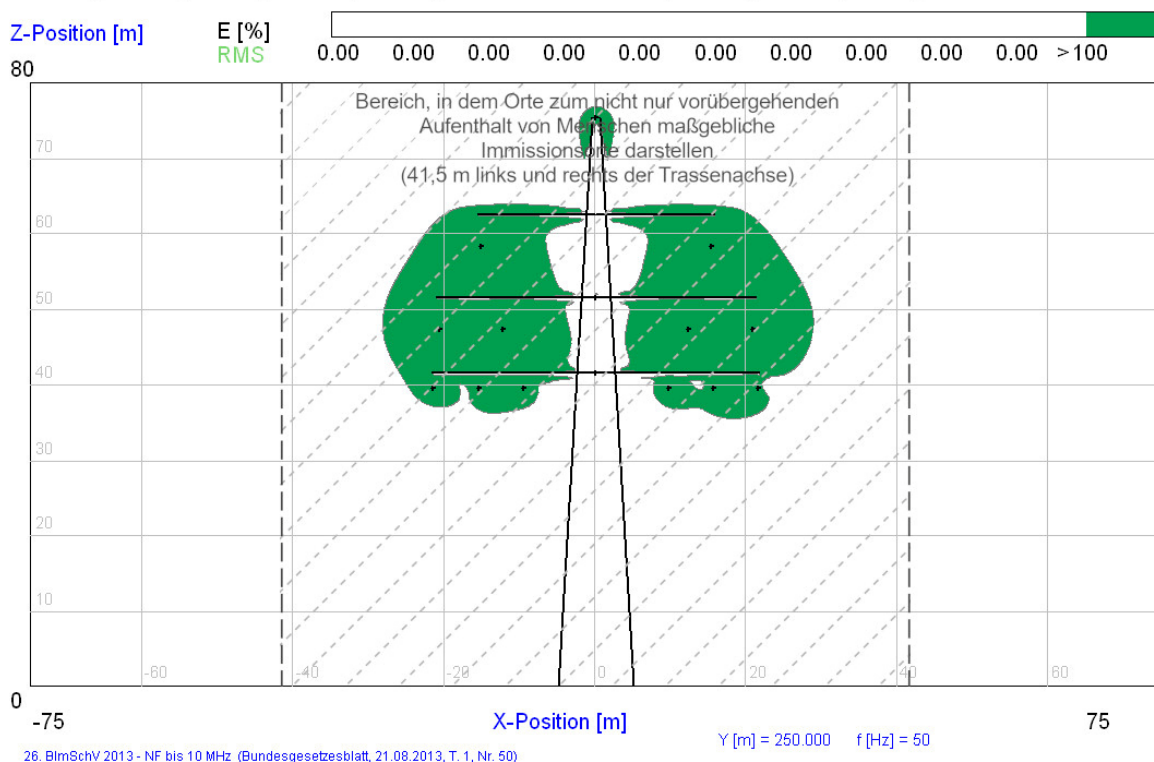


Abbildung 10: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 a) eine Grenzwertüberschreitung der elektrischen Feldstärke möglich ist (grün gekennzeichnet)

3.3.2. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 b): Erhöhung des Masten (in z-Richtung)

Bei einem beispielhaften Bodenabstand der Leiterseile von 17,8 m ergeben sich folgende Abstände für die Grenzwertunterschreitungen:

Magnetische Flussdichte: Der effektiv anzuwendende Grenzwert der magnetischen Flussdichte von 100 μT wird ab 27,5 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 6,5 m wird der Grenzwert überall unterschritten, siehe Abbildung 11 und Abbildung 12.

Elektrische Feldstärke: Der Grenzwert der elektrischen Feldstärke von 5 kV/m wird ab 29,5 m seitlichen Abstand zur Trassenachse in jeder Höhe unterschritten. Bis zu einer Höhe von 6,0 m wird der Grenzwert überall unterschritten, siehe Abbildung 13.

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte in Mastfeldmitte
Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 10.0 m (110-kV), 17.8 m (380-kV)

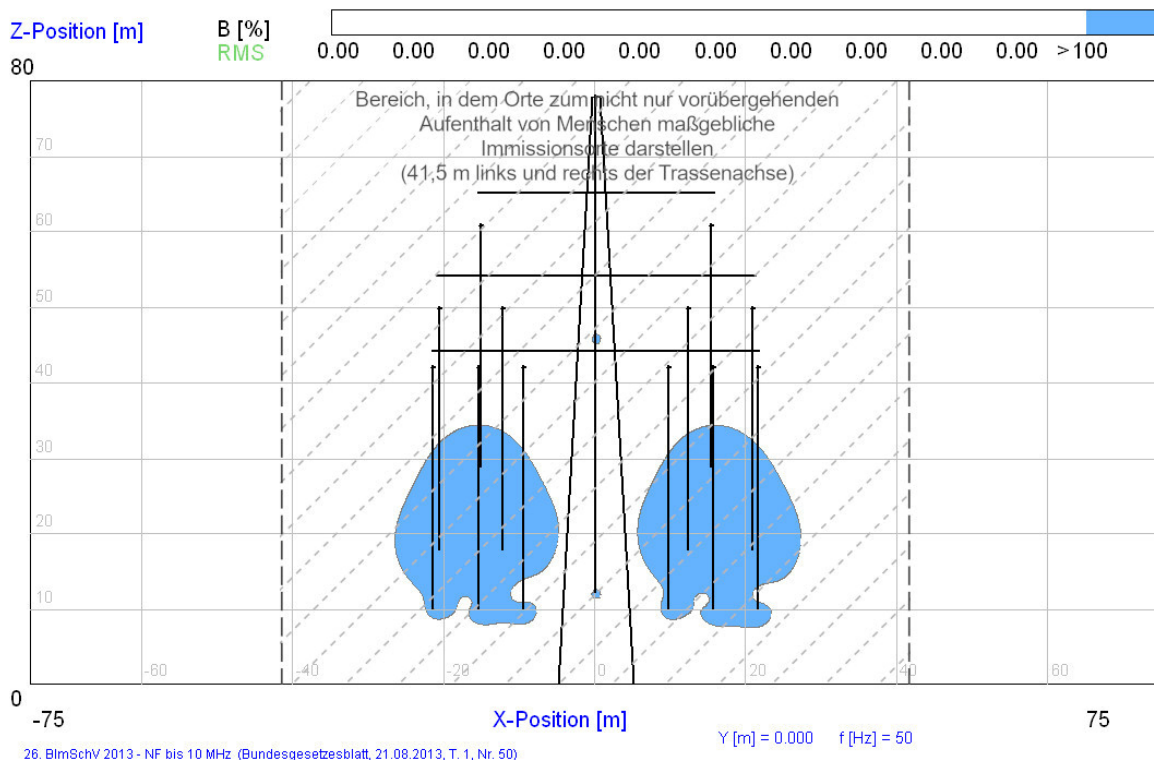


Abbildung 11: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 b) eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 123 (380-kV), 213 | 213 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: magnetische Flussdichte in Mastfeldmitte
Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 10.0 m (110-kV), 17.8 m (380-kV)

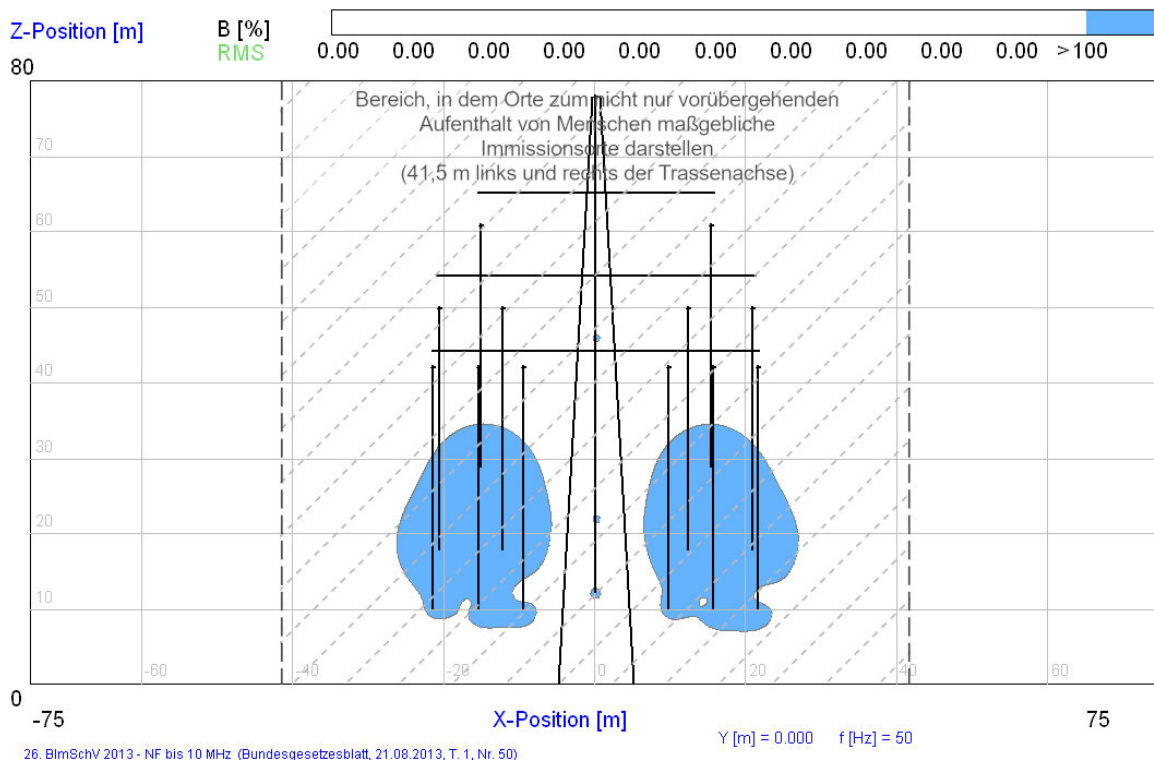


Abbildung 12: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 b) eine Grenzwertüberschreitung der magnetischen Flussdichte möglich ist (blau gekennzeichnet), Phasenlage 123 | 312 (380-kV), 213 | 132 (110-kV)

SMF 380-kV-Freileitung AD86/19/21 WA4: elektrische Feldstärke in Mastfeldmitte

Belastung: 680 A (123 kV), 4000 A (420 kV); Leiterseilhöhe: 10.0 m (110-kV), 17.8 m (380-kV)

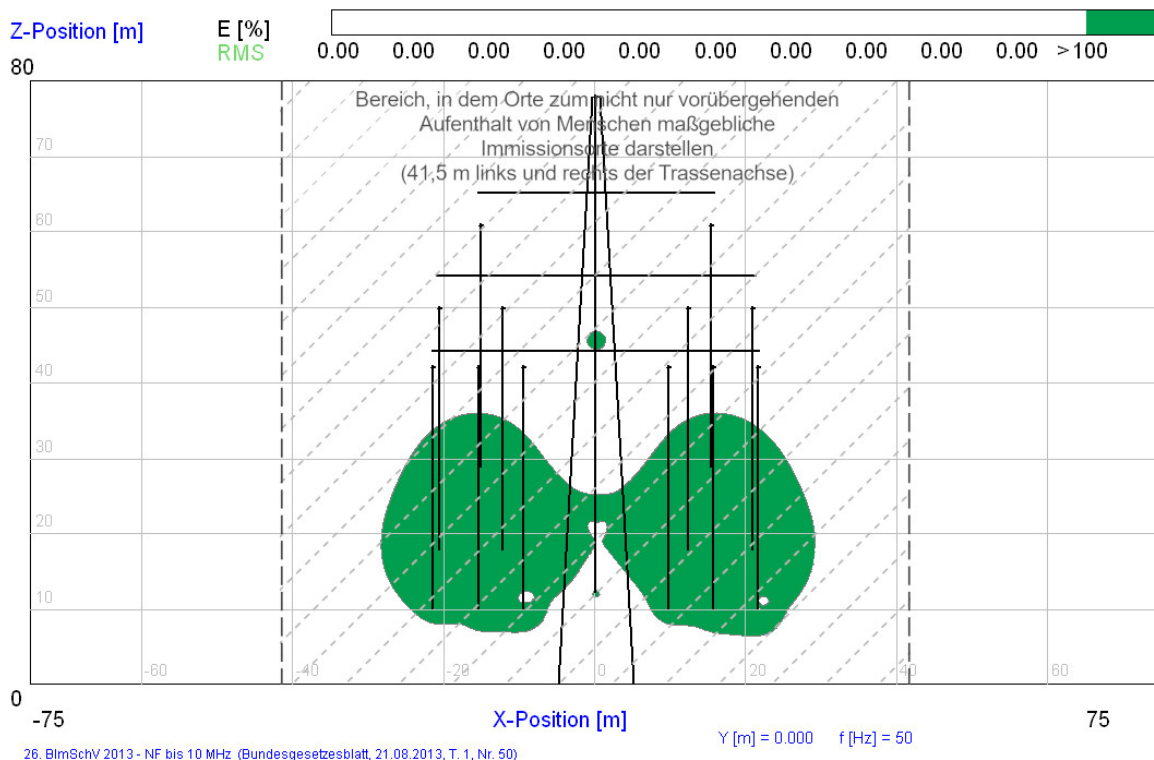


Abbildung 13: Bereiche, in denen gemäß Prüfstufe 3 b) eine Grenzwertüberschreitung der elektrischen Feldstärke möglich ist (grün gekennzeichnet)

3.3.3. Prüfungsergebnis Prüfstufe 3 c): Leiterseilerhöhung allgemein

Eine Leiterseilerhöhung (im Bereich eines spezifischen Immissionsortes) kann sowohl über die Verschiebung eines Masten hin zu einem Immissionsort als auch über die Erhöhung der Masten erreicht werden (siehe die Abschnitte 3.3.1 und 3.3.2 sowie Abbildung 7). Es ist auch eine Kombination beider Maßnahmen möglich. Für die resultierende magnetische Flussdichte und elektrische Feldstärke am Immissionsort ist letztlich die Höhe des Leiterseils der bestimmende Parameter.

Nachfolgend ist für eine Höhe von 8,4 m über dem Boden (entspricht im Regelfall drei bewohnten Etagen bzw. dem 2. OG) die magnetische Flussdichte (Abbildung 14) bzw. die elektrische Feldstärke (Abbildung 15) über den horizontalen Abstand des Immissionsortes zur Trassenachse aufgetragen. Dabei wurden die fünf verschiedenen Leiterseilhöhen 15,3 m, 17,8 m, 25,3 m, 35,3 m und 45,3 m unterschieden.

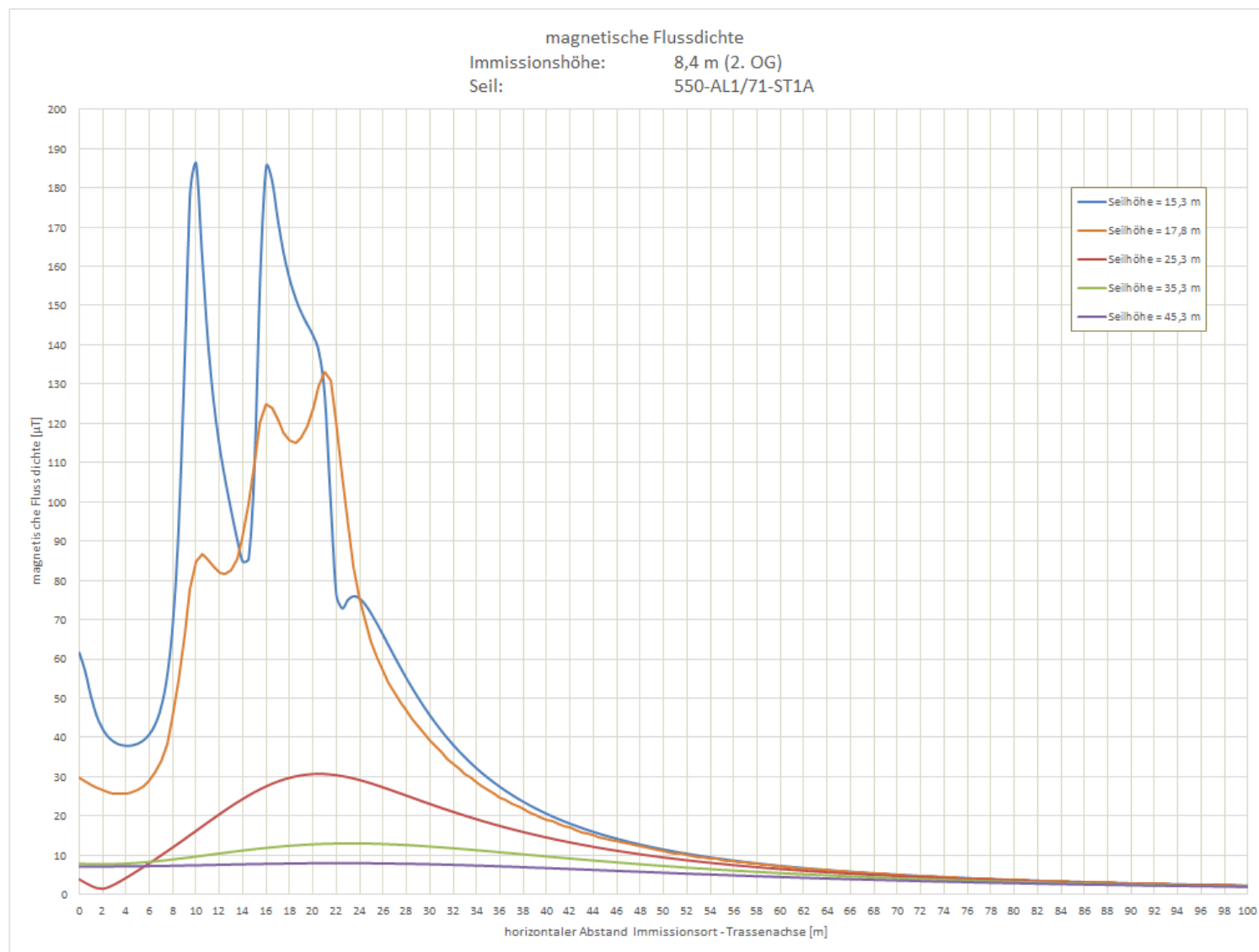


Abbildung 14: magnetische Flussdichte des Standardmastfeldes im horizontalen Abstand zum Immissionsort für fünf verschiedene Leiterseilhöhen (2. OG)

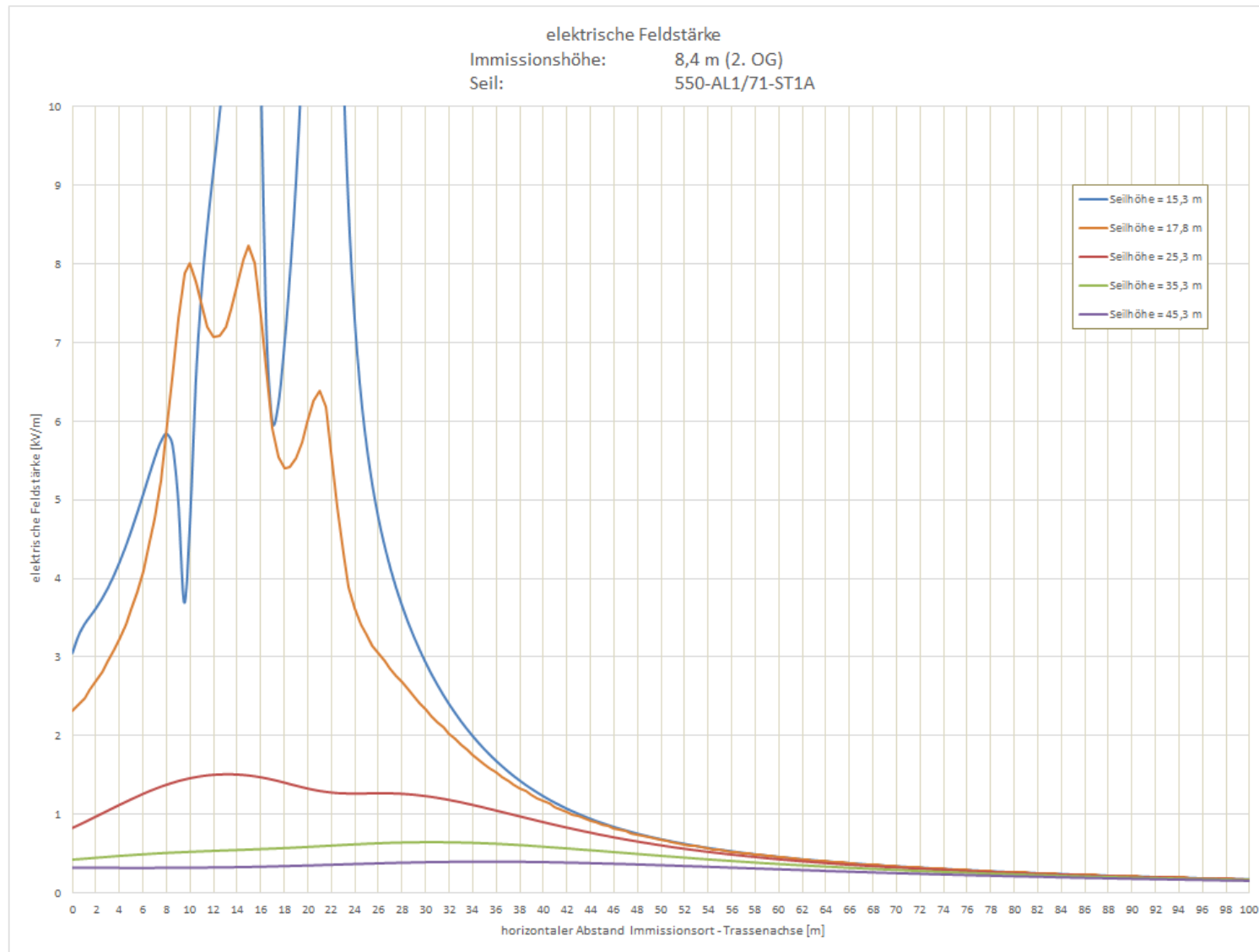


Abbildung 15: elektrische Feldstärke des Standardmastfeldes im horizontalen Abstand zum Immissionsort für fünf verschiedene Leiterseilhöhen (2. OG)

3.4. Prüfstufe 4

Gibt es maßgebliche Immissionsorte, welche in dem Bereich liegen, in welchem gemäß Prüfstufe 3 eine Überschreitung der Grenzwerte möglich ist, wird für diese maßgeblichen Immissionsorte jeweils ein situatives Gutachten erstellt.