

Bericht

Nr. 17086-2-R02

Berechnung von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder für das IBA Projektgebiet Elbinselquartier

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	2 / 28

Immissionsschutz

Auftraggeber: IBA Hamburg GmbH
Am Zollhafen 12
20539 Hamburg

Ort: Bereich der neu geplanten Stadteilschule auf dem südlichen
Vogelhüttendeich für das IBA Projekt Elbinselquartier

Bearbeiter	Telefon	E-Mail
Dipl. Ing. (FH) René Kyek	040 / 76629-1361	rkyek@tuev-nord.de
Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Gronwald (Wissenschaftliche Beratung)		

Zu Grunde liegende Normen und Spezifikationen:

26. BImSchV/2013: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes (novelliert 2013)

In Verbindung mit den Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut

DIN EN 50413

(VDE 0848-1) 2009

Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0Hz bis 300GHz)

ITU-T K.90:2012

Recommendation ITU-T K.90 „Evaluation techniques and working procedure for compliance with exposure limits of network personnel to power-frequency electromagnetic fields“, International Telecommunication Union, Series K: Protection against Interference

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	3 / 28

Ergebnis:

Siehe Kapitel 6

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf im Bericht beschriebenen Umgebungen. Ohne schriftliche Genehmigung der TÜV NORD CERT GmbH darf der Bericht nur vollständig und nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Erstellt:

Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Weber
Laborleiter

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Plambeck
Sachverständiger

TÜV NORD CERT GmbH
Abteilung EMV Services
Harburger Schlossstraße 6-12
21079 Hamburg

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	4 / 28

1	ÄNDERUNGSVERZEICHNIS	5
2	AUFGABENSTELLUNG	6
3	SPEZIFIKATION	6
4	VERWENDETE BERECHNUNGSVERFAHREN	8
4.1	Berechnung der magnetischen Felder	8
4.2	Berechnung der elektrischen Felder	12
4.3	Grenzwerte	13
5	ERGEBNISSE	13
6	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND GUTACHTERLICHE STELLUNGNAHME	26
7	REFERENZEN	28

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	5 / 28

1 Änderungsverzeichnis

Revision	Ausgabedatum	Ersteller	Änderungsinhalt
00	23.06.2017	R. Kyek	Erstausgabe
01	28.06.2017	R. Kyek	Ergänzung Tabelle 5-2 / Beschreibung der Tabelle, Änderungen / Ergänzungen in Kapitel 6
02	10.04.2024	T. Weber	Ergänzung Bild 3-2, Ergänzung Kapitel 6

Tabelle 1-1: Änderungsverzeichnis

Hinweis: Wenn das Dokument per Revisionsnummer geändert worden ist, sind alle Vorläuferdokumente nicht mehr gültig und zu vernichten.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	6 / 28

2 Aufgabenstellung

Im nördlichen Bereich des Vogelhüttendeiches in Hamburg Wilhelmsburg verlaufen zwei 110kV Freileitungen. Im Rahmen der Umgestaltung des Stadtteils soll in unmittelbarer Umgebung der Freileitungen eine neue Stadtteilschule entstehen.

Der Auftraggeber möchte wissen, ob am geplanten Standort der Stadtteilschule mit gesundheitlich bedenklichen elektrischen oder magnetischen Feldern der Netzfrequenz 50 Hz gerechnet werden muss.

Für den Schutz der **Allgemeinbevölkerung** gilt die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (**26. BImSchV**: 1996 in der Fassung v. 14. August 2013).

3 Spezifikation

Im Bereich der geplanten Schule verlaufen die 110 kV –Freileitungen 26/27 (im Mastbereich 780-781). Diese verlaufen von der Schaltanlage Neuhoof nach Tiefsack. Die Leitungen sind für einen maximalen Strom von 1026 A ausgelegt. Momentan ist der letzte größere Verbraucher in östlicher Richtung vor dem Vogelhüttendeich. Im Bereich des Vogelhüttendeiches sind bei oben beschriebener Einspeisung die Systeme nur sehr gering ausgelastet.

Nach Auskunft des Netzbetreibers kann die Einspeisung auch anders herum erfolgen. In diesem Fall sind die Systeme im zu untersuchenden Bereich entsprechend ausgelastet.

Durch die geringe Auslastung der 110KV Systeme von 1-2% bezogen auf die maximale Systemauslastung können keine Messungen im Bereich der geplanten Stadtteilschule durchgeführt werden. Aus diesem Grund erfolgt die Bewertung der Systeme auf Grundlage einer Berechnung der elektrischen und magnetischen Felder in der Umgebung der 110 kV Systeme.

Grundlage für die Berechnung ist die maximale Systemlast, die Mastgeometrie sowie der Abstand zum geplanten Neubau.

Wie eingehend bereits beschrieben, beträgt der maximale Strom 1026 A. Aufgrund der nicht bekannten Phasenlage der beiden Systemen wird in der Berechnung der „worst case“ Fall, gleicher Phasenlage beider Systeme, betrachtet.

Die Mastgeometrie sowie der Durchhang wurden vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellt.

Die Nordfassade der Stadtteilschule ist in einem Abstand von 30,75m zu Mastmitte geplant. Der Eingangsbereich soll sich in 39,1 m Entfernung befinden.

Die Schule soll 4 Geschosse erhalten. Das Erdgeschoss befindet sich auf Erdniveau und hat eine Geschosshöhe von 4 m. Alle weiteren Geschosse sind jeweils 3,5 m hoch. Die Gesamthöhe beträgt 14,5 m.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	7 / 28



Bild 3-1: Übersicht der geplanten Baumaßnahmen (Stand 2017)

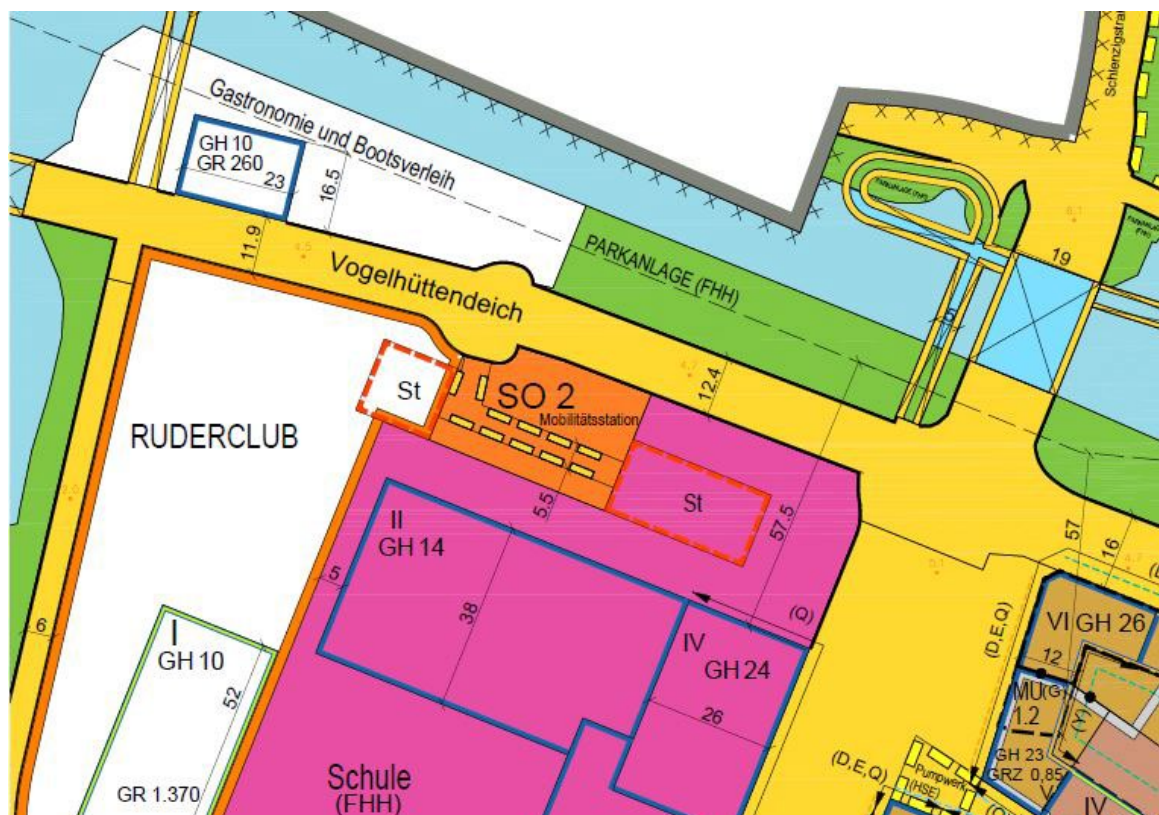


Bild 3-2: Übersicht der geplanten Baumaßnahmen (Stand 4/2024). Der Abstand Freileitung zu Gebäude hat sich auf 57,5 m vergrößert.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	8 / 28

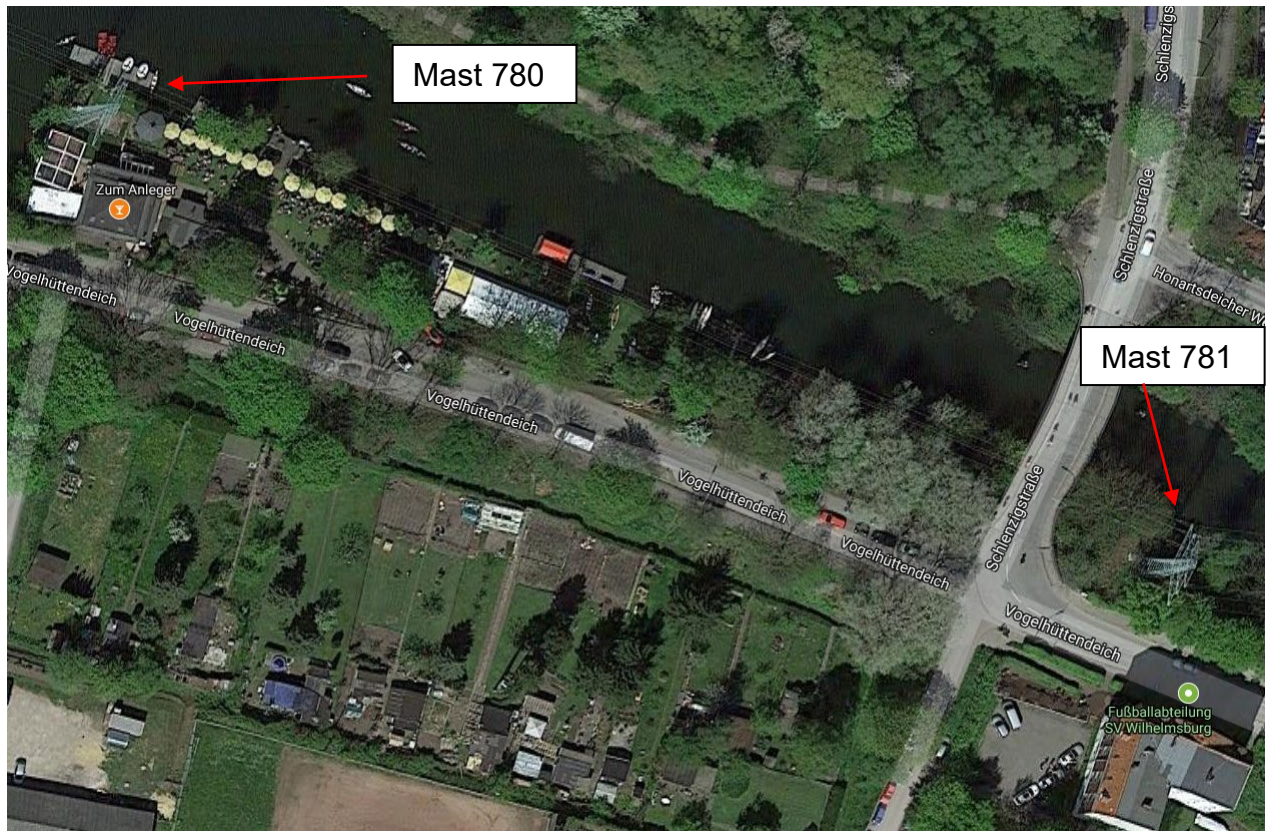


Bild 3-3: 110kV Freileitungen mit Masten 780-781

4 Verwendete Berechnungsverfahren

In den folgenden Abschnitten werden die Verfahren skizziert, mit denen die magnetischen und elektrischen Felder in der Umgebung von Hochspannungsleitungen berechnet werden können. Da die Frequenz der zu berechnenden Felder 50 Hz beträgt, handelt es sich um niederfrequente Felder, bei denen Strahlungsphänomene nicht betrachtet werden brauchen. Vielmehr lassen sich die Felder als quasi-stationär und quasi-statisch modellieren [Gri11].

In den konkreten Berechnungsvorschriften gilt für die folgenden Abschnitte die internationale Empfehlung ITU-T K.90 [ITU12] als Leitlinie.

4.1 Berechnung der magnetischen Felder

Magnetische Felder werden zumeist mit $\vec{B}$ oder $\vec{H}$ bezeichnet, mit $\vec{B}$ der *magnetischen Feldstärke* und $\vec{H}$ der *magnetischen Erregung*. Diese Benennungen sind nicht immer eindeutig, so wird das Feld $\vec{B}$ häufig auch als *magnetische Flussdichte* bezeichnet und, historisch bedingt, finden sich für $\vec{H}$ die Bezeichnungen *magnetische Feldstärke* und *magnetisches Feld*. Die magnetische Feldstärke $\vec{B}$ wird in der SI-Einheit Tesla gemessen, $[\vec{B}] = \text{T} = \text{Vs/m}^2$, die magnetische Erregung $\vec{H}$ bemisst sich in den SI-

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	9 / 28

Einheiten $[\vec{H}] = \text{A/m}$. In Vakuum bzw. in Luft sind beide Felder über die magnetische Feldkonstante μ_0 verknüpft, $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$, mit $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs/Am}$.

Im quasi-stationären Fall lassen sich die magnetischen Feldes aus vorgegebenen Strömen berechnen. Dies kann auf Grundlage des Ampèreschen Gesetzes

$$\oint_{\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \int_A \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

oder des Gesetzes von Biot-Savart

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \vec{J}(\vec{r}') \times \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} d^3 r'$$

erfolgen [Gri11].

Wird speziell ein konzentrierter quasi-stationärer Strom I betrachtet, der entlang eines langen linienförmigen und geraden Leiters fließt, so folgt aus diesen Beziehungen, dass das magnetische Feld konzentrische Kreise um diesen Leiter ausbildet, siehe hierzu Bild 4-1. Die Beträge der magnetischen Felder ergeben sich dabei zu

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi r} \quad \text{bzw.} \quad H = \frac{I}{2\pi r}$$

wobei r den Abstand zwischen Leiter und Feldpunkt bezeichnet.

Werden die Felder von mehreren Leitern berücksichtigt, so addieren sich nach dem Superpositionsprinzip die einzelnen Feldbeiträge auf. Diese Addition muss allerdings vektoriell und unter Berücksichtigung der verschiedenen Phasenlagen erfolgen, eine einfache Addition der Beträge führt zu falschen und in der Regel zu hohen Werten.

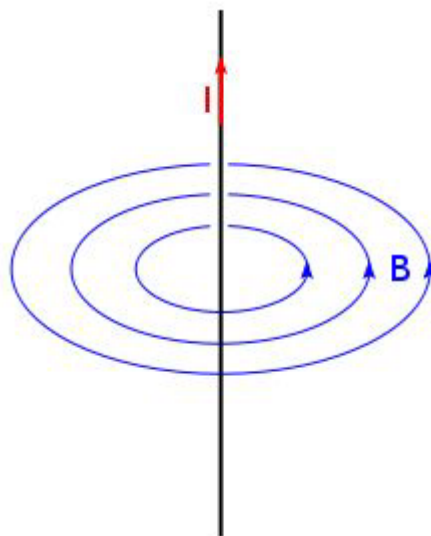


Bild 4-1: Magnetfeld $\vec{B}$ um einen ausgedehnten linienförmigen und geraden Leiter, der den Strom I führt. Das Magnetfeld bildet um diesen Leiter konzentrische Kreise aus.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	10 / 28

Tatsächliche Hochspannungsleitungen stellen keine ideal geraden Leiter dar, sondern verfügen in der Regel über einen gewissen Durchhang. Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einfluss dieses Durchhangs für übliche Hochspannungsleitungen entweder vernachlässigt werden oder mit einem Korrekturfaktor für eine effektive Höhe beschrieben werden kann [Den66, ED09, DSJ11]. Daher ist das Modell des geraden Leiters auch für Hochspannungsleitungen mit Durchhang anwendbar.

Bei der Berechnung der von Hochspannungsleitungen ausgehenden magnetischen Felder ist weiterhin der Einfluss des Erdbodens zu berücksichtigen. Dieser Einfluss wird maßgeblich von der Leitfähigkeit des Bodens bestimmt. Auf der Basis elektromagnetischer Feldtheorie ist in klassischen Arbeiten gezeigt worden, dass Bodeneffekte durch Spiegelströme modelliert werden können, d.h., ein leitfähiger Boden kann im Falle der Magnetfeldberechnung durch äquivalente Spiegelströme ersetzt werden. Die entsprechenden theoretischen Überlegungen sind in [Ban79] zu finden und zusammengefasst. Aus dieser Referenz ist auch Bild 4-2 entnommen, welches die Konstruktion der Spiegelströme illustriert. Es wird dabei eine Spiegelebene in einer Tiefe $d/2$ unter dem Erdboden positioniert. Ist der eigentliche Leiter in einer Höhe h über dem Erdboden befindlich, so ist der Spiegelstrom unterhalb des Erdbodens in einer Tiefe

$$D = d + h$$

zu platzieren. Für die Tiefe d gilt

$$d = \delta(1 - j)$$

mit der Skintiefe δ des Erdbodens,

$$\delta = \sqrt{2 / \omega \mu_0 \sigma} \quad .$$

Die Distanz d ist komplexwertig, was neben der reinen Propagation eine Dämpfung des magnetischen Feldes durch den Erdboden bedeutet.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	11 / 28

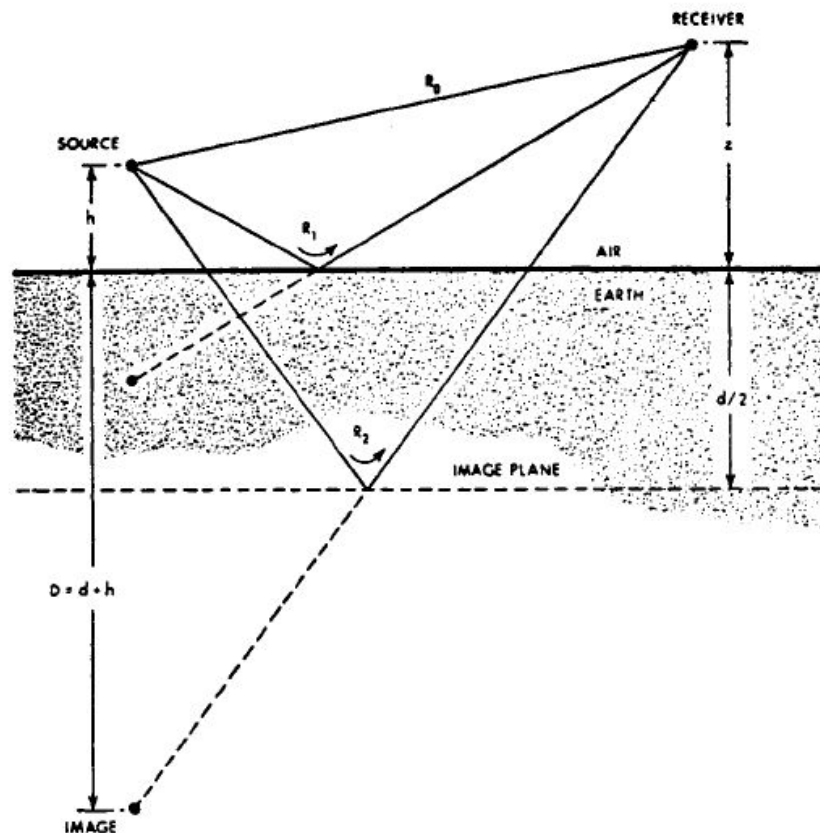


Bild 4-2: Illustration des Spiegelprinzips für einen endlich leitfähigen Boden, entnommen aus [Ban79].

Ein Problem bei der Anwendung des Spiegelprinzips ist, dass die Leitfähigkeit des Bodens üblicherweise nicht bekannt ist. Diese kann, insbesondere je nach Feuchtigkeitsgrad, stark variieren [Den66]. Betrachtet werden im Folgenden die Grenzfälle eines nicht leitfähigen Bodens und eines sehr gut leitfähigen Bodens:

- nicht leitfähiger Boden, $\sigma \rightarrow 0$: In diesem Fall streben die Skintiefe δ und damit der Abstand d gegen sehr hohe Werte, $\delta, d \rightarrow \infty$. Die Spiegelströme werden somit in einen unendlich entfernten Abstand verschoben und ihr Einfluss verschwindet. Damit hat der nicht leitfähige Boden keinen Einfluss auf die Feldberechnung oberhalb des Bodens.
- sehr gut leitfähiger Boden, $\sigma \rightarrow \infty$: In diesem Fall streben die Skintiefe δ und damit der Abstand d gegen sehr kleine Werte, $\delta, d \rightarrow 0$. Die Spiegelströme sind daher in einem Abstand $D = h$ unterhalb der Spiegelebene zu positionieren, wobei sich die Spiegelebene selber auf Höhe des tatsächlichen Erdbodens befindet. Damit sind die Spiegelströme bezogen auf die Spiegelebene symmetrisch zu den tatsächlichen Strömen angeordnet und damit auch in maximaler Nähe zum Bereich oberhalb der Spiegelebene. Generell wird der Einfluss der Spiegelladungen mit steigender Höhe über dem Erdboden geringer, da dann die originalen Ströme

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	12 / 28

aufgrund ihrer kürzeren Distanz zu den betrachteten Feldpunkten größere Feldbeiträge liefern.

4.2 Berechnung der elektrischen Felder

Die Berechnung der elektrischen Felder um Hochspannungsleitungen kann mit quasi-statischen Methoden erfolgen. Die Grundlage für diese Methoden bildet das Gaußsche Gesetz

$$\oint_{\partial V} \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho dV ,$$

welches die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ mit der elektrischen Ladungsdichte ρ verknüpft [Gri11]. Die elektrische Feldkonstante ϵ_0 ist durch $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$ gegeben. Bei Hochspannungsleitungen sind nun die Ladungsverteilungen zunächst unbekannt. Bekannt sind aber die Spannungen U der einzelnen Leitungen in Bezug auf die Erde. Aus den Spannungen können dann in einem ersten Schritt die Linienladungen λ auf den einzelnen Leitern berechnet werden. Für einen sehr leitfähigen Boden ergibt sich beispielsweise die Bestimmungsformel

$$U = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2h}{R}\right),$$

mit R dem Radius des betrachteten Linienleiters, aus dem mit bekannter Spannung U die Linienladung λ berechnet werden kann. In einem zweiten Schritt ergibt sich dann die elektrische Feldstärke aus dem Ausdruck

$$\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{r^2}$$

mit dem Verbindungsvektor $\vec{r}$ zwischen Feldpunkt und Leiterposition.

Im Falle mehrerer Leiter muss deren gegenseitiger Einfluss aufeinander mitberücksichtigt werden. Dies kann mit Hilfe einer Kopplungsmatrix $\underline{\underline{P}}$ erfolgen, welche die bekannten Spannungen mit den unbekannten Ladungsverteilungen verknüpft [Den66, ITU12]:

$$\underline{\underline{P}}\lambda = \underline{U}$$

Wie bei der Berechnung der magnetischen Felder sind auch im elektrischen Fall die aus dem Spiegelprinzip folgenden Spiegelladungen zu berücksichtigen, wenn der Einfluss eines leitfähigen Bodens mit einbezogen werden soll. Weiterhin sind bei der Addition der einzelnen Beiträge für die gesamte elektrische Feldstärke die vektoriellen Richtungen und Phasenlagen zu berücksichtigen.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	13 / 28

4.3 Grenzwerte

In Tabelle 2-1 werden die gesetzlichen Grenzwerte der 26. BImSchV für die elektrische Feldstärke bzw. magnetische Flussdichte angegeben.

Personengruppe	50 Hz, elektr. Feldstärke (Effektivwert) [V/m]	50 Hz, magnet. Flussdichte (Effektivwert) [µT]
26. BImSchV Allgemeinbevölkerung	5.000	100

Tabelle 4-1: Grenzwerte für 50 Hz-Felder

In Hamburg gibt es zudem Vorsorgeempfehlungen der BGV-V5 und BUE-IB. Diese beschreiben, dass in einem Abstand von bis zu **50 m** zum äußeren Leiterseil keine Wohngebäude und keine baulichen Anlagen, die zum dauernden Aufenthalt von Kindern bestimmt sind, mehr ausgewiesen werden.

5 Ergebnisse

Für die Berechnungen wird von einer Volllast der Systeme ausgegangen. Der zu Grunde liegende Strom wurde mit 1026A angenommen.

Da alle Rechnungen linear sind, können auch für andere Stromwerte die Magnetfeldwerte leicht durch Division durch den entsprechende Faktor I_{max}/I_{list} (I_{max} : maximaler Strom, I_{list} : (Iststrom)) berechnet werden: Für einen Strom von rund 536 Ampere (höchster gemessener Wert laut Netzbetreiber im Jahr 2017) wird also einfach durch 2 (gerundeter Wert) geteilt, für rund 50 Ampere (Durchschnittswert aus allen 1/4h Messintervallen des Netzbetreibers im Jahr 2017) wird durch den Faktor 20 geteilt. Die Berechnung der elektrischen Felder ist von den Strömen unabhängig. Hier geht nur ein, dass es sich um eine 110 kV Leitung handelt. Der Spannungswert ist konstant.

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Abstände 30m und 40m von der Mastmitte sowie auf die Höhen **1,2m, 5,2m, 8,7m** und **12,2m**, d.h. auf Kinderkopfhöhe (Annahme 1,20 m) im Erdgeschoss und den ersten drei Obergeschossen.

Weiterhin werden die Werte für den in Hamburg gültigen 50 m Vorsorgeabstand (57m von der Mastmitte) angegeben.

Für die Berechnungen wurden die zwei Fälle

- sehr gute und
- sehr schlechte Bodenleitfähigkeit

berücksichtigt, da dieser Parameter in das Endergebnis eingeht.

Für die Rechnung wird der "worst case"-Fall angenommen, insbesondere ein maximaler Durchhang und gleiche Phasenlagen der Leitungen 26 und 27.

Die folgende Tabelle 5.1 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für die oben genannten Abstände bei Volllast der Freileitungssysteme (parallel zur Freileitung).

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	14 / 28

Position (Abstand; Höhe) / Meter	Magnetfeld (Bodenleitfähigkeit hoch) / μT	Magnetfeld (Bodenleitfähigkeit niedrig) / μT	elektrisches Feld (hoch) / V/m	elektrisches Feld (niedrig) / V/m
30; 1,2	2,13	1,69	181	165
30; 5,2	2,19	1,93	187	187
30; 8,7	2,29	2,14	197	206
30; 12,2	2,41	2,34	209	223
40; 1,2	1,40	1,01	118	108
40; 5,2	1,41	1,19	119	116
40; 8,7	1,43	1,26	121	122
40; 12,2	1,46	1,33	124	127
57; 1,2	0,81	0,60	69	59
57; 5,2	0,81	0,62	69	61
57; 8,7	0,81	0,64	69	62
57; 12,2	0,80	0,66	69	64

Tabelle 5-1: Ergebnis der Berechnung bei 30 m, 40 m und 57 m von der Mastmitte **bei Vollausslastung der Hochspannungssysteme**

Generell ist anzumerken, dass die theoretischen Maximalwerte in der Praxis nicht erreicht werden.

In Tabelle 5-2 werden die Ergebnisse unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Auslastung der Freileitungssysteme angegeben. Als Durchschnittswert werden 55 A, kleinster ¼ h Intervall aus 2017, zugrunde gelegt.

Diese Werte sind allerdings rein informativ zu werten. Grundlage dieses Berichts ist die 26. BlmSchV, in der die Bewertung bei höchster betrieblicher Anlagenlast erfolgt.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	15 / 28

Position (Abstand; Höhe) / Meter	Magnetfeld (Bodenleitfähigkeit hoch) / μT	Magnetfeld (Bodenleitfähigkeit niedrig) / μT	elektrisches Feld (hoch) / V/m	elektrisches Feld (niedrig) / V/m
30; 1,2	0,12	0,09	181	165
30; 5,2	0,12	0,1	187	187
30; 8,7	0,12	0,12	197	206
30; 12,2	0,13	0,13	209	223
40; 1,2	0,08	0,05	118	108
40; 5,2	0,08	0,06	119	116
40; 8,7	0,08	0,07	121	122
40; 12,2	0,08	0,07	124	127
57; 1,2	0,04	0,03	69	59
57; 5,2	0,04	0,03	69	61
57; 8,7	0,04	0,03	69	62
57; 12,2	0,04	0,04	69	64

Tabelle 5-2: Ergebnis der Berechnung bei 30 m, 40 m und 57 m von der Mastmitte **bei durchschnittlicher Belastung** (55A ermittelt aus 1/4h Messintervall 2017, Quelle Netzbetreiber)

In den folgenden Graphen werden die Ergebnisse für die magnetische Feldstärke für Abstände bis 200m angegeben.

Die blaue Kurve stellt die Ergebnisse für die ideale Leitfähigkeit da und die grüne Kurve für geringe Leitfähigkeit. Es werden wieder die Ergebnisse für die Höhen 1,2m, 5,2m, 8,7m und 12,2m gezeigt.

Hieraus können auch die Abstände ermittelt werden, an denen sich 0,1 μT , 0,3 μT und 0,4 μT bei Vollast der Freileitungssysteme ergeben.

Dies sind:

- 180 m für 0,1 μT
- 100 m für 0,3 μT
- 85 m für 0,4 μT .

Aus den Ergebnissen in Tabelle 5-2 für die durchschnittliche Auslastung der Freileitungssysteme ergibt sich, dass 0,1 μT bereits in einem Abstand von 40 m von der Mastmitte unterschritten werden.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	16 / 28

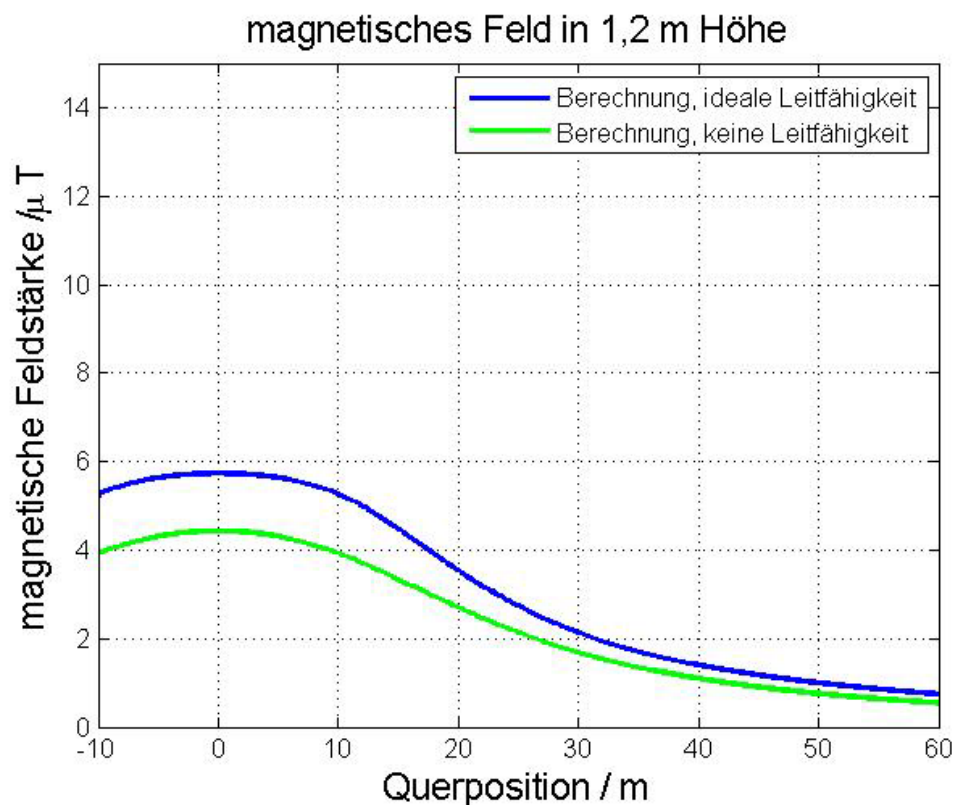


Bild 5-1: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 1,2m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

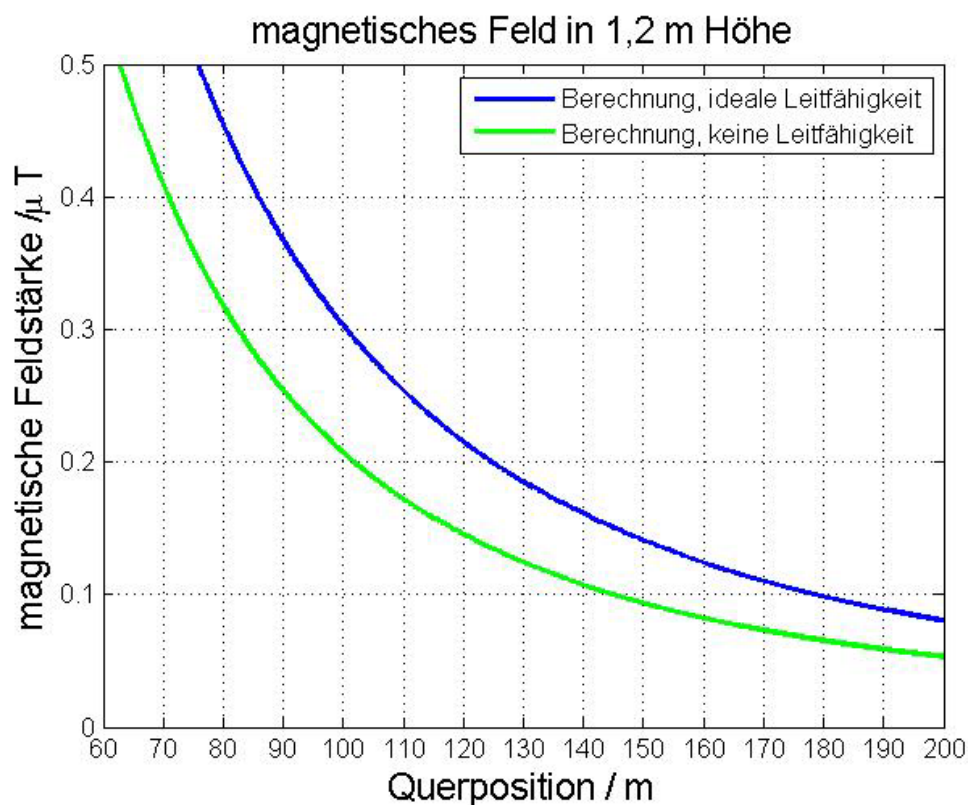


Bild 5-2: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 1,2m über Bodenniveau Abstand - 60m bis 200m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	17 / 28

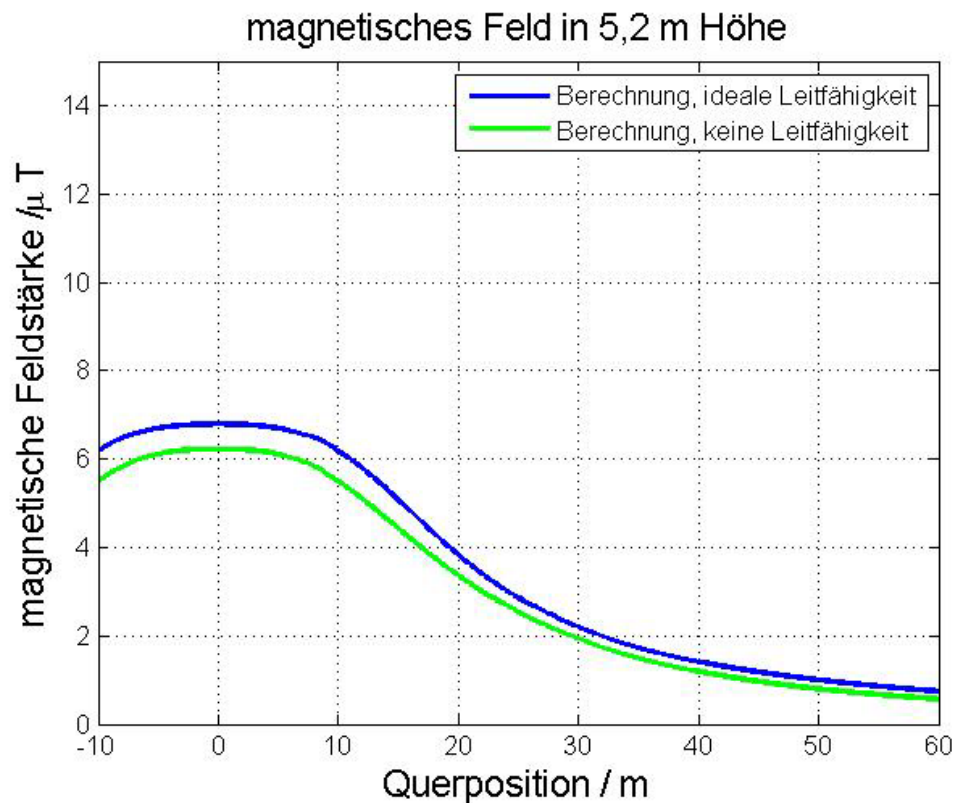


Bild 5-3: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 5,2m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

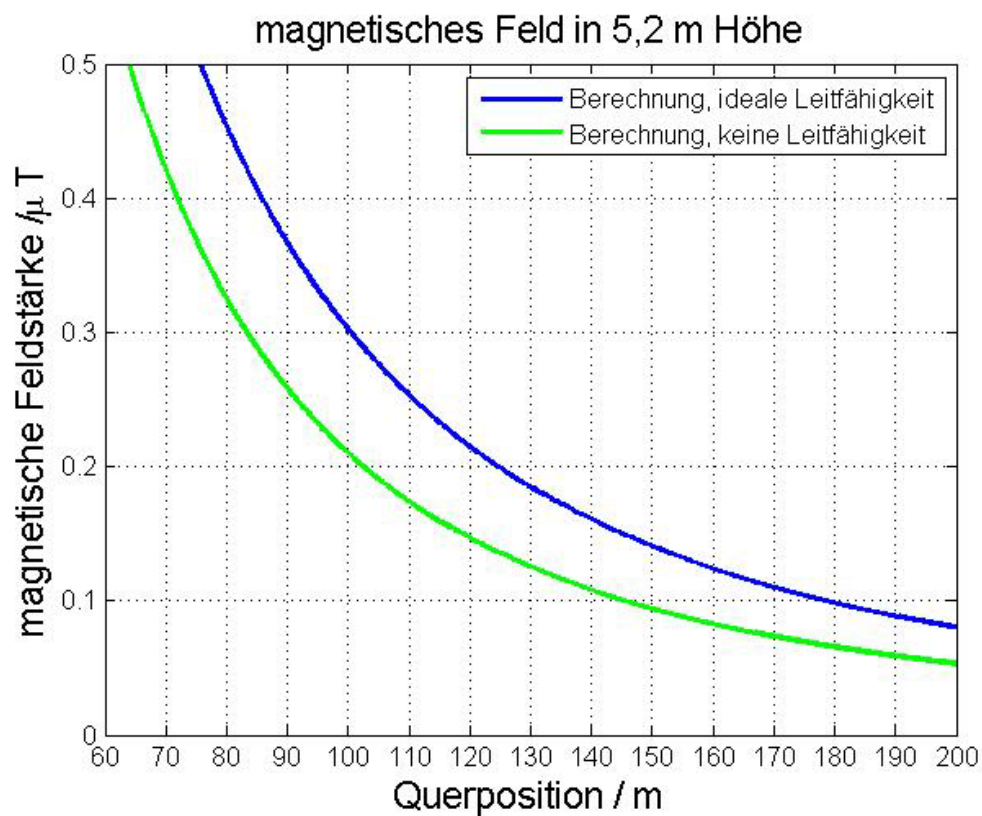


Bild 5-4: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 5,2m über Bodenniveau Abstand - 60m bis 200m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	18 / 28

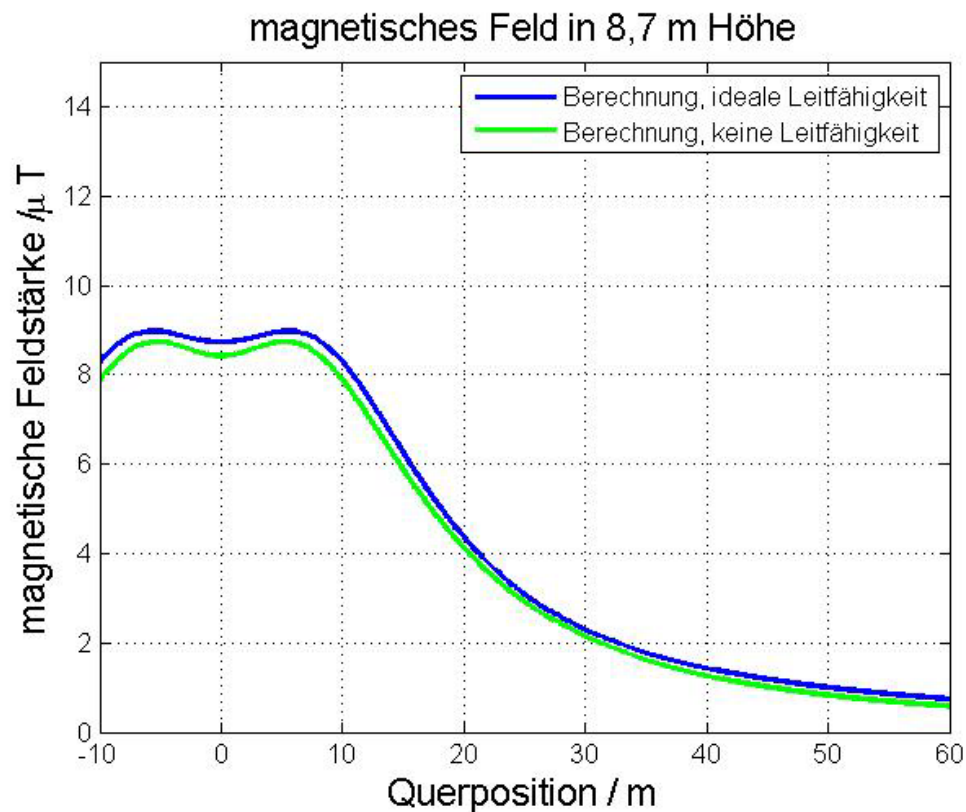


Bild 5-5: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 8,7m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

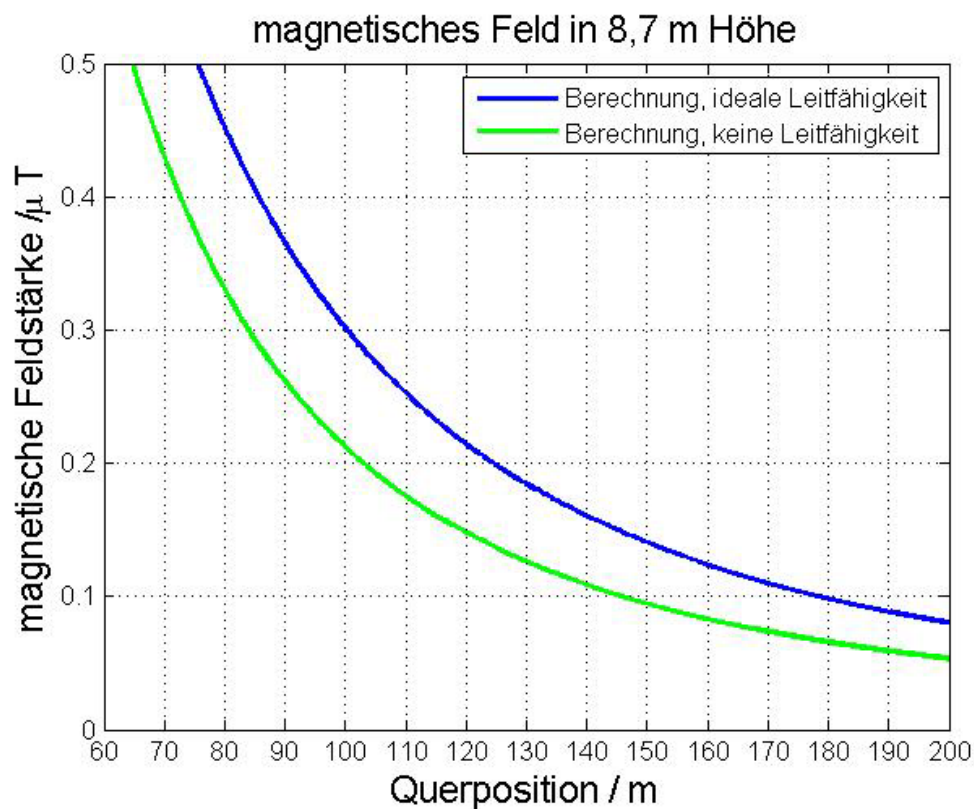


Bild 5-6: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 8,7m über Bodenniveau Abstand - 60m bis 200m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	19 / 28

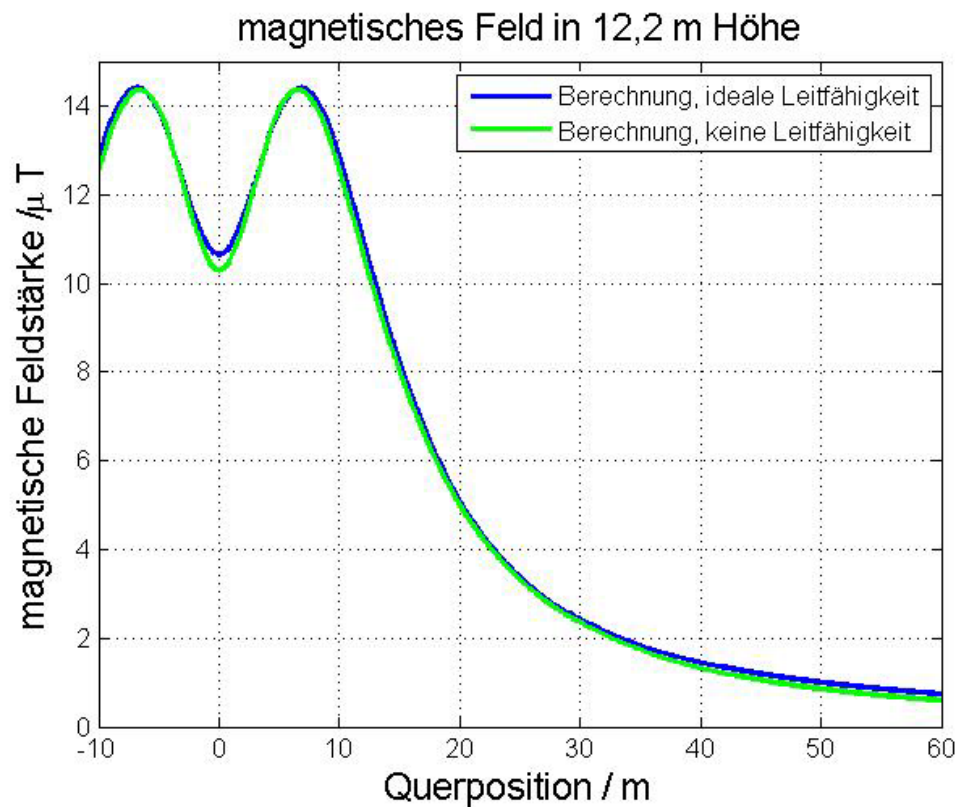


Bild 5-7: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 12,2m über Bodenniveau Abstand -10m bis 60m zur Mastmitte

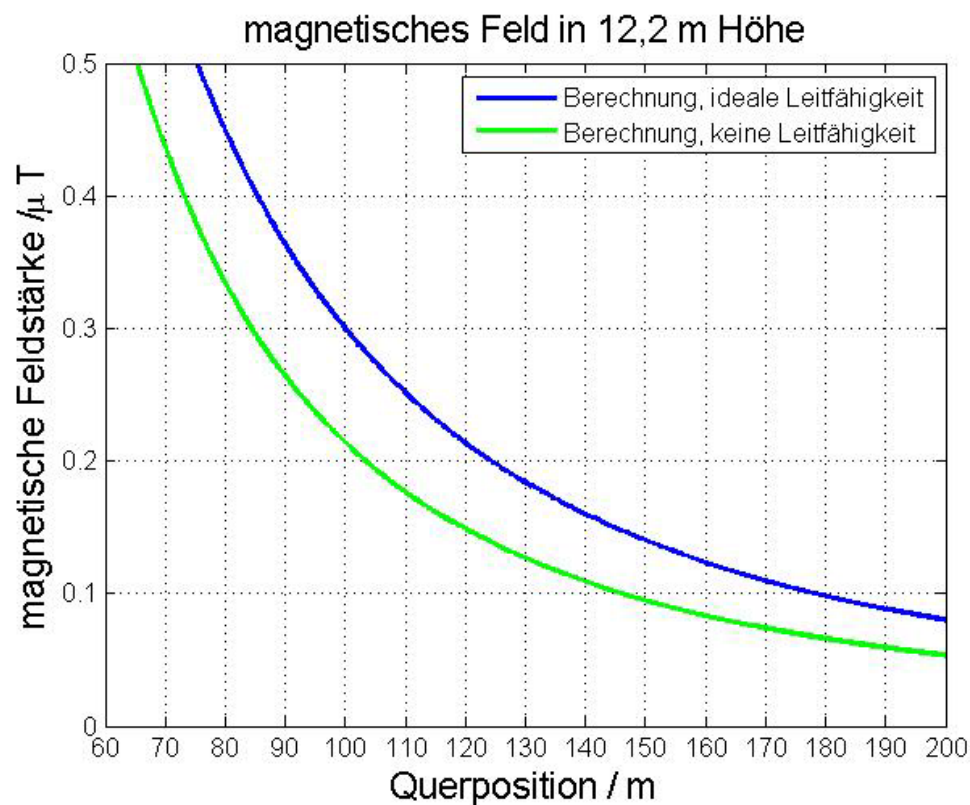


Bild 5-8: Ergebnisse der magnetischen Feldstärke in 8,7m über Bodenniveau Abstand - 60m bis 200m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	20 / 28

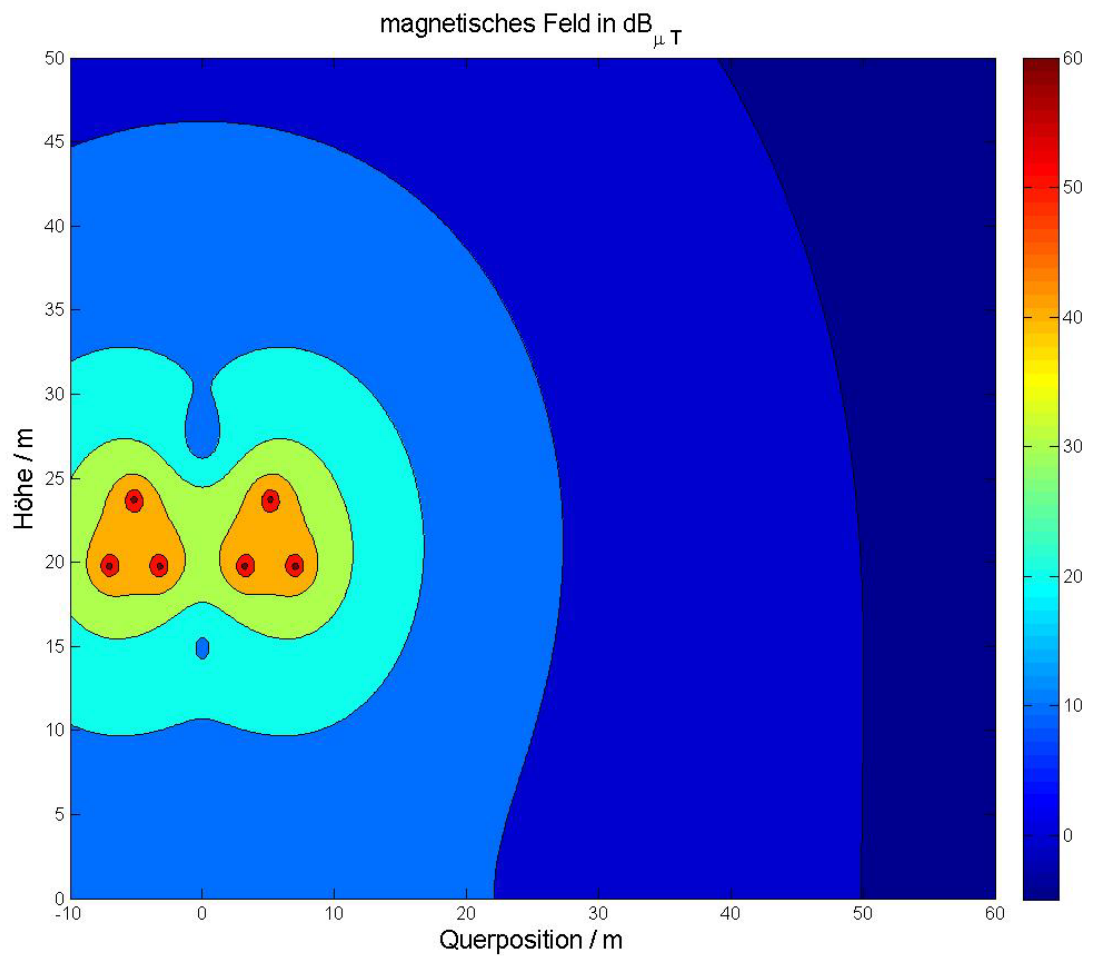


Bild 5-9: Berechnete magnetische Feldstärke als Konturengraph für den Fall idealer Bodenleitfähigkeit.

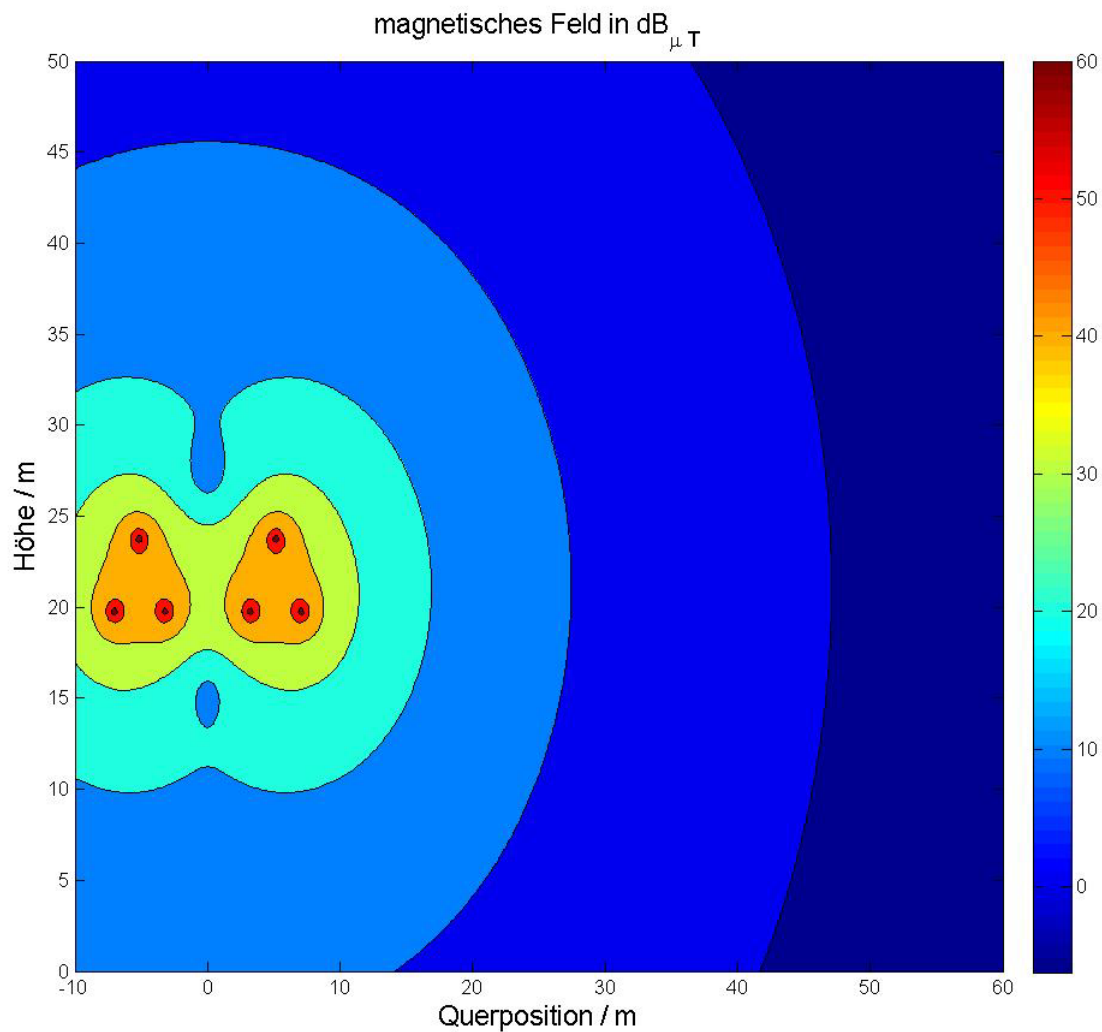


Bild 5-10: Berechnete magnetische Feldstärke als Konturengraph für den Fall niedrige Bodenleitfähigkeit.

In den Bildern 5-9 und 5-10 sind die Werte logarithmisch in der Einheit dB μ T aufgetragen. Die folgende Tabelle 5-2 zeigt an Beispielwerten die Umrechnung auf Grundlage der Formel

$$\text{Wert in dB } \mu \text{ T} = 20 \times \log(\text{Wert in } \mu \text{ T})$$

Wert in μ T	0.01	0.1	1	10	100	1000
Wert in dB μ T	-20	-10	0	20	40	60

Tabelle 5-2: Zur Umrechnung magnetischer Feldstärkewerte in logarithmische Einheiten.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	22 / 28

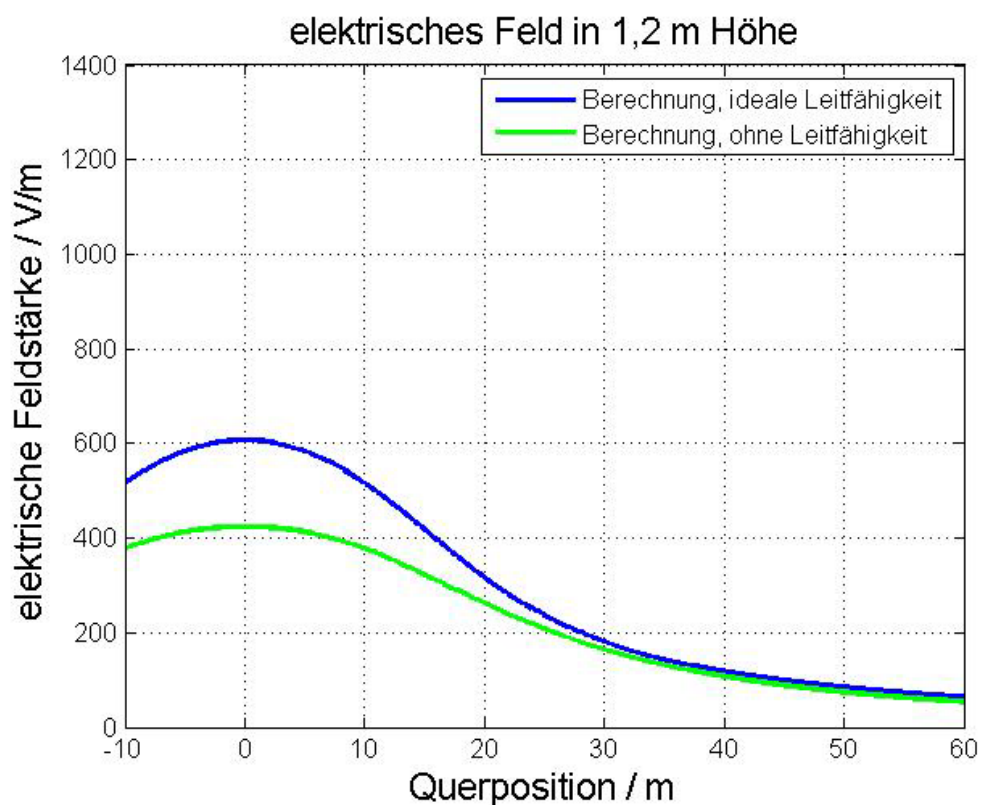


Bild 5-11: Ergebnisse der elektrischen Feldstärke in 1,2m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

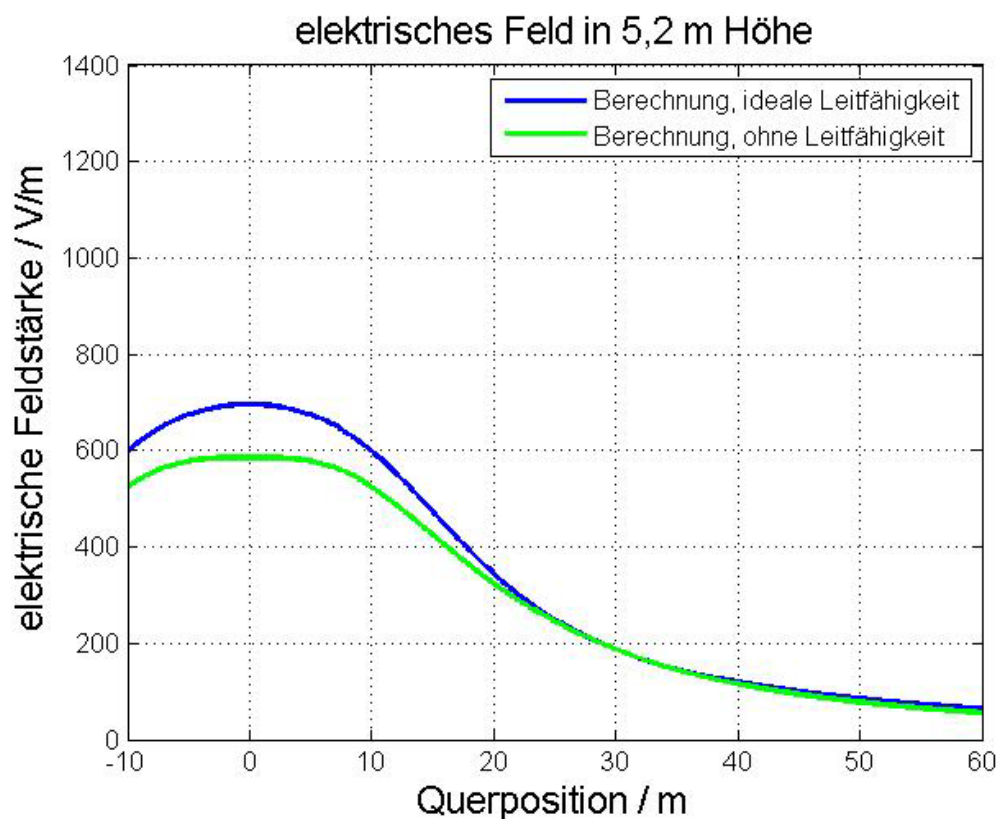


Bild 5-12: Ergebnisse der elektrischen Feldstärke in 5,2m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	23 / 28

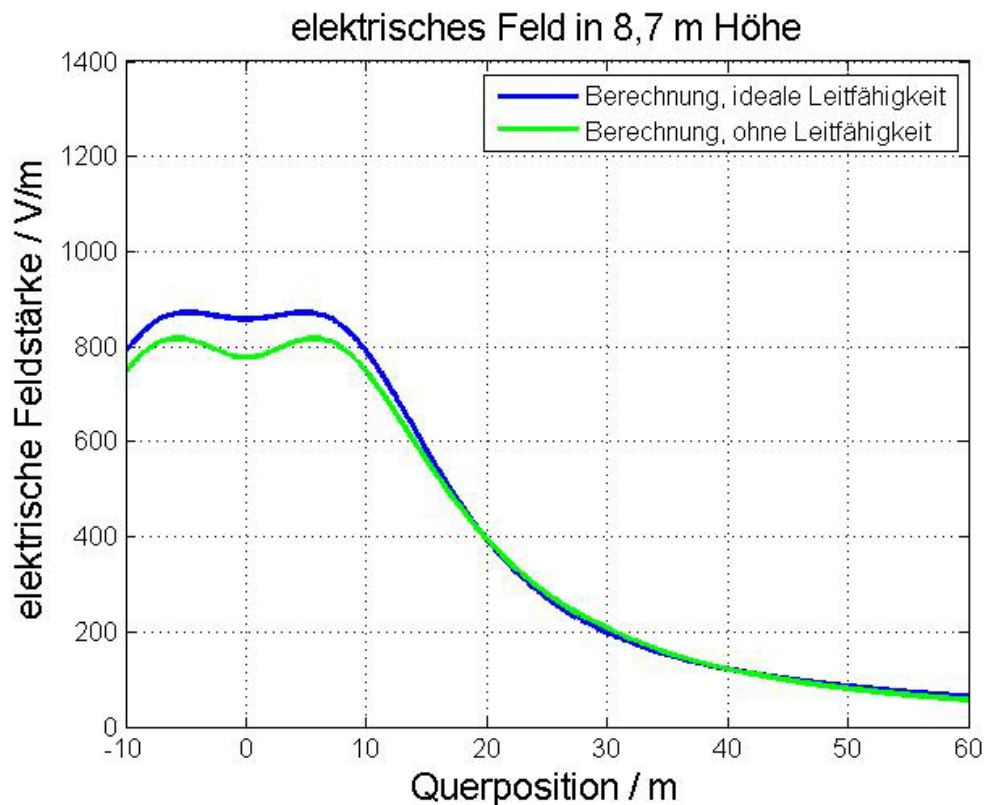


Bild 5-13: Ergebnisse der elektrischen Feldstärke in 8,7m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

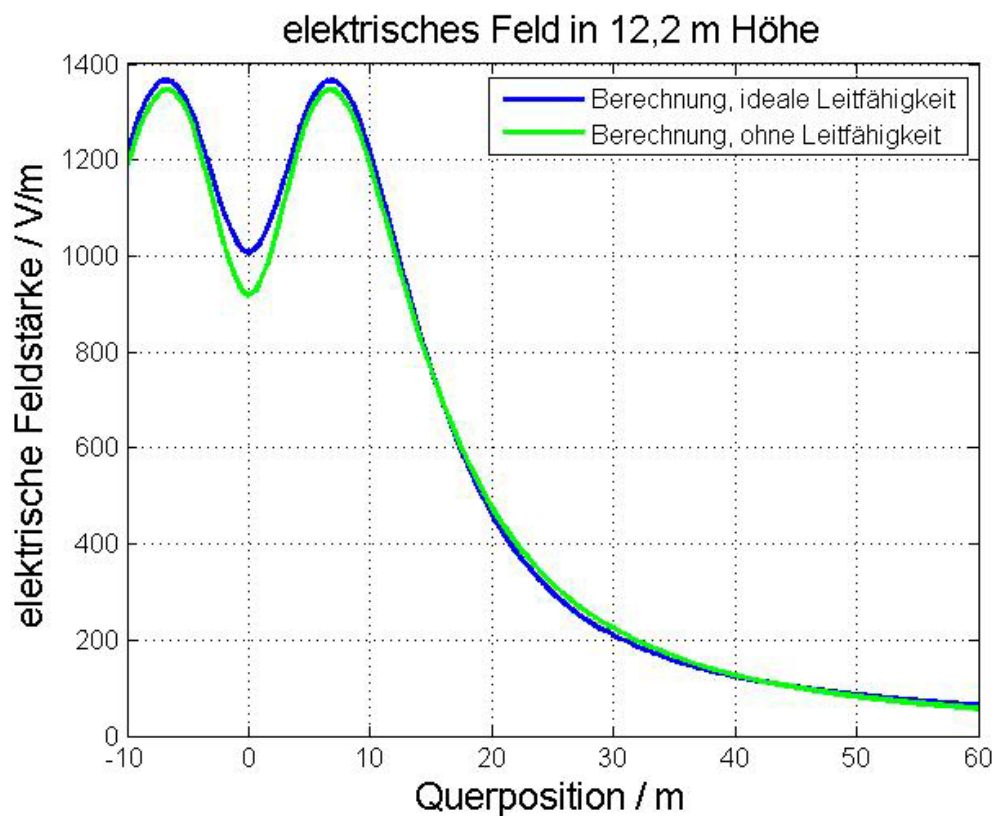


Bild 5-14: Ergebnisse der elektrischen Feldstärke in 12,2m über Bodenniveau Abstand - 10m bis 60m zur Mastmitte

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	24 / 28

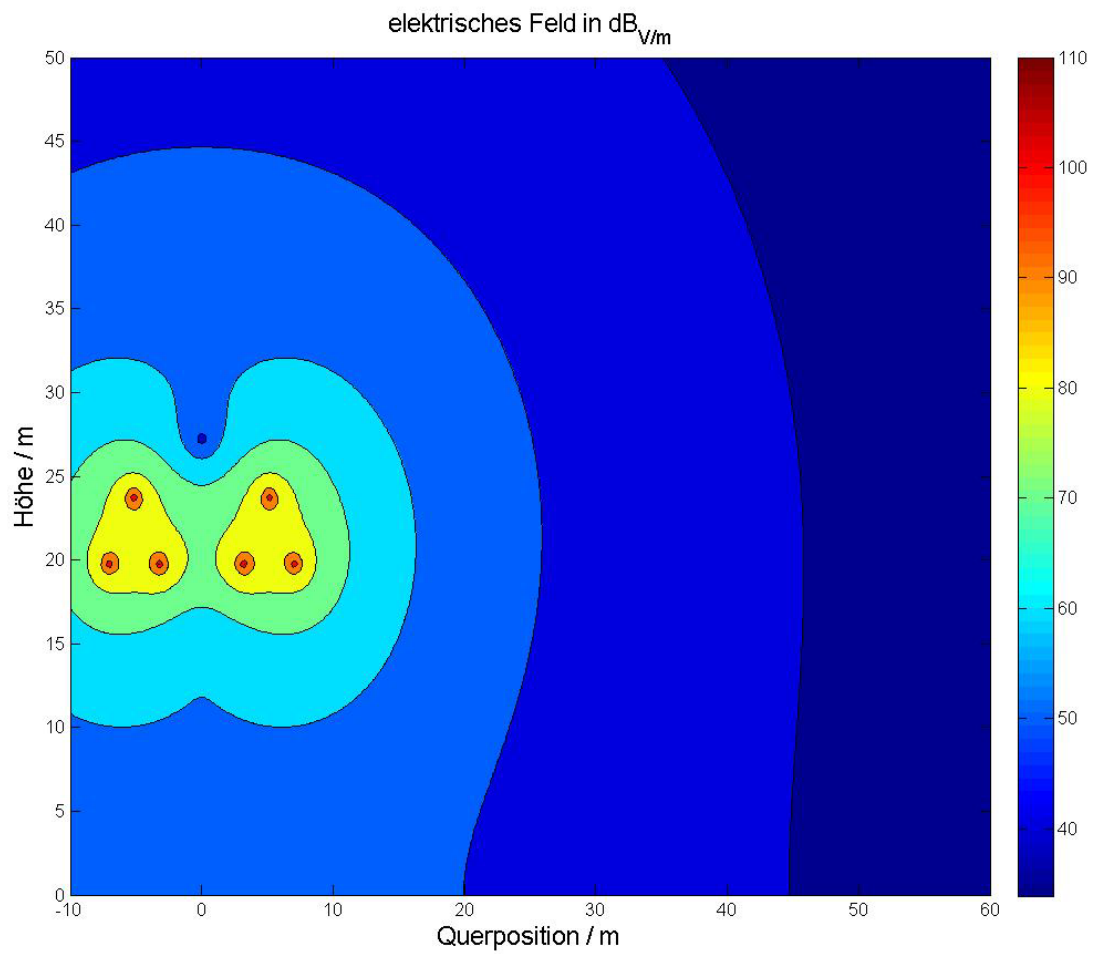


Bild 5-15: Berechnete elektrische Feldstärke als Konturengraph für den Fall idealer Bodenleitfähigkeit.

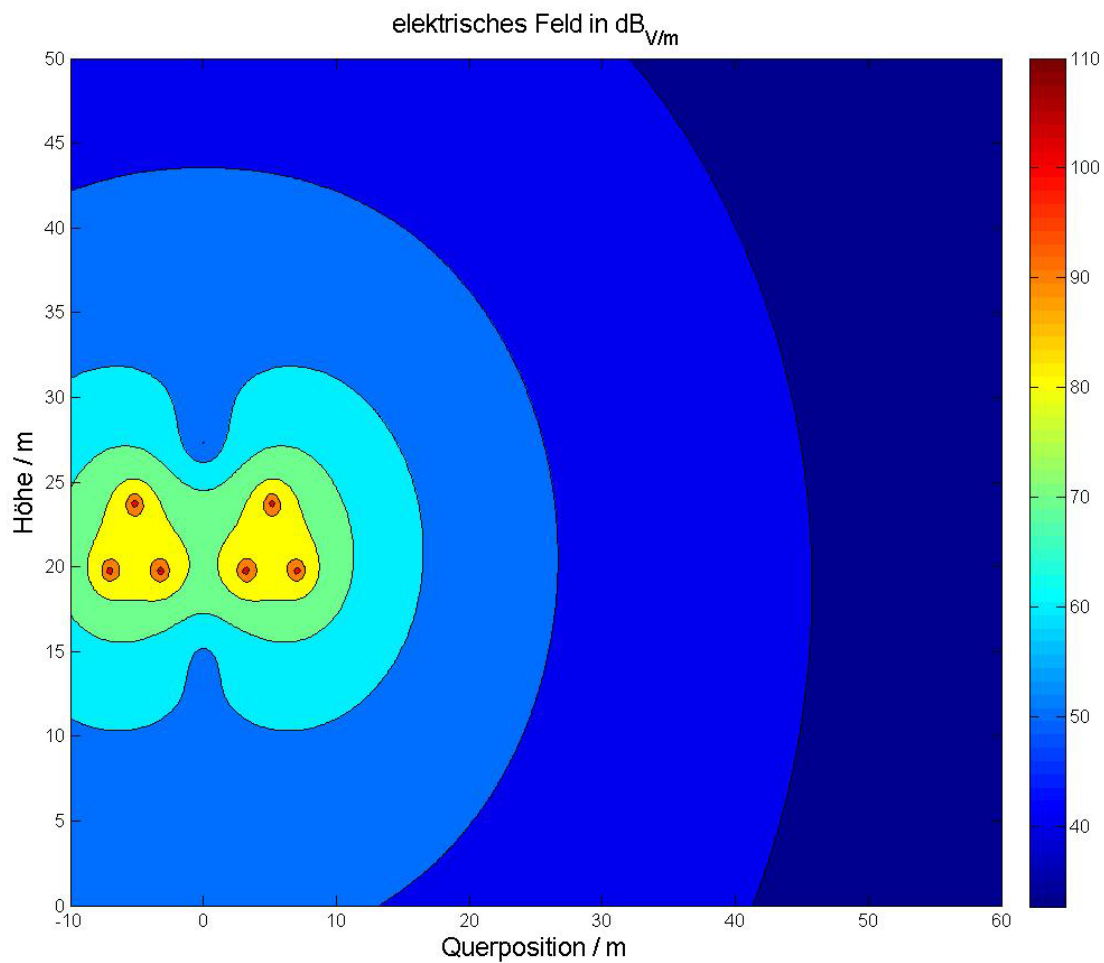


Bild 5-16: Berechnete elektrische Feldstärke als Konturengraph für den Fall niedriger Bodenleitfähigkeit.

Die nachfolgende Tabelle 5-3 verdeutlicht die Umrechnung der Feldstärkewerte auf Grundlage der Formel

$$\text{Wert in dBV/m} = 20 \times \log(\text{Wert in V/m})$$

Wert in V/m	1	10	100	1000	10000	100000
Wert in dBV/m	0	20	40	60	80	100

Tabelle 5-3: Zur Umrechnung elektrischer Feldstärkewerte in logarithmische Einheiten.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	26 / 28

6 Bewertung der Ergebnisse und gutachterliche Stellungnahme

Die Entfernung des Baukörpers gemäß Skizze aus 2024 zeigt einen Abstand von 57,5m zur Leitung.

Aus den in Kapitel 5 dargestellten Ergebnissen ergibt sich:

Elektrische Feldstärke (50 Hz):

Die für die Allgemeinbevölkerung gültigen Grenzwerte für die elektrische Feldstärke werden im Bereich der geplanten Stadtteilschule eingehalten. In einer Entfernung von 30m zur Mastmitte der 110 kV Freileitungen wird der Grenzwert unter den ungünstigsten Bedingungen um den **Faktor 22.4 unterschritten**.

Im Abstand von 40 m zur Mastmitte wird der Grenzwert um den **Faktor 39.4** und in 57m Abstand um den **Faktor 85 unterschritten**.

Magnetische Flussdichte (50 Hz):

Die für die Allgemeinbevölkerung gültigen Grenzwerte für die magnetische Feldstärke (100 µT) werden im Bereich der geplanten Stadtteilschule eingehalten. In der Entfernung von 30 m zur Mastmitte der 110 kV Freileitungen wird der Grenzwert am ungünstigsten Punkt um den **Faktor 41.5** in 40 m Entfernung um den **Faktor 68.5** und in 57 m um den **Faktor 123.5 unterschritten**.

Zusammenfassung:

Die Grenzwerte der 26. BImSchV für die elektrischen und magnetischen Felder ausgehend von den 110 kV Freileitungssystemen 26/27 im Mastbereich 780-781 werden bei Volllast der Systeme im Bereich der geplanten Stadtteilschule eingehalten und deutlich unterschritten.

Momentan sind die Freileitungssysteme im Bereich des Vogelhüttendeichs gering ausgelastet. Laut Netzbetreiber betragen die Mittelwerte über ¼ h Intervalle im Jahr 2017 bisher 56,69A für die Leitung 26 und 55.75 A für die Leitung 27. Im Jahr 2016 betrug der ¼ h Mittelwert 16,72 A für Leitung 26 und 22.14 A für Leitung 27.

Der Höchstwert über ein ¼ h Intervall betrug im Jahr 2017 bisher 535 A für Leitung 26 und für 536 A Leitung 27. Im Jahr 2016 betrug der Höchstwert 298 A für Leitung 26 und 519 A für Leitung 27.

Die zuletzt angegebenen Höchstwerte resultieren aus der Einspeisung von Tiefstack nach Neuhaus, also entgegen der üblichen Einspeisung von Neuhaus nach Tiefstack. Laut Aussage des Netzbetreibers kommt dies nur in einen einstelligen Prozentbetrag über das Jahr gesehen vor. Der Strom beträgt dann auch etwa nur die Hälfte des angegebenen. Die aktuell hohen Werte resultieren daraus, dass Arbeiten an den Leitungen durchgeführt wurden und abwechselnd immer nur ein System in Betrieb war.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	27 / 28

Bei normaler Einspeisung der Freileitung von Neuhaus nach Tiefstack sollte der real zu erwartende Durchschnittswert bei derzeitigem Ausbauzustand / Anordnung der Verbraucher etwa 1/20 der bei Volllast berechneten Werte für die magnetische Feldstärke entsprechen. Die zu erwartenden Werte sind in Tabelle 5-2 angegeben.

Die Werte für die elektrische Feldstärke sind davon unbeeinflusst. Allerdings lässt sich die elektrische Feldstärke durch Baumaterialien wie Fassadenverkleidungen, metallisch bedampften Fensterscheiben usw. zum Teil sehr stark dämpfen.

TÜV NORD CERT	Messbericht / Gutachten	Datum	Seite
Immissionsschutz	Nr. 17086-2-R02	10.04.24	28 / 28

7 Referenzen

- [Ban79] P.R. Bannister: „Summary of Image Theory Expressions for the Quasi-Static Fields of Antennas at or Above the Earth's Surface“, Proceedings of the IEEE, vol. 67, no. 7, (July 1979), pp. 1001-1008.
- [Den66] P. Denzel: „Grundlagen der Übertragung elektrischer Energie“, (Springer, Berlin, 1966).
- [DSJ11] K. Dezelak, G. Stumberger, F. Jakl: „Emissions of electromagnetic fields caused by sagged overhead lines“, Electrical Review, no. 3, (2011), pp. 29-32.
- [ED09] A.Z. El Dein: “Magnetic-Field Calculation Under EHV Transmission Lines for More Realistic Cases”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 4, (October 2009), pp. 2214-2222.
- [Gri11] D.J. Griffiths: „Elektrodynamik – Eine Einführung“, 3. Auflage (Pearson Verlag, 2011).
- [ITU12] International Telecommunication Union: „Evaluation techniques and working procedures for compliance with exposure limits of network operator personnel to power frequency electromagnetic fields“, Recommendation ITU-T K.90 (May 2012).

Ende des Berichtes