
Elektrische und magnetische Felder in der Umgebung einer Hochspannungs- freileitung

Dokumentation der Ergebnisse von Feldstärkeberechnungen

Auftraggeber: Stadt Landshut
Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
Luitpoldstraße 29
84026 Landshut

Ort: Landshut-Münchnerau: Bebauungsplan 10-83/2 "Nördlich Wilhelm-von-Kaulbach-Weg"

Durchführung: EM-Institut GmbH
Carlstr. 5
93049 Regensburg

IMST GmbH
Carl-Friedrich-Gauß-Str. 2-4
47475 Kamp-Lintfort

Projektnummer: 17/064

Ort und Datum: Regensburg, 24. November 2017

Projektleitung beim Auftragnehmer:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek
EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg
Tel.: 0941/298365-0
Fax: 0941/298365-2
E-Mail: matthias.wuschek@em-institut.de

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek (verantw. Autor)
EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg

Dipl.-Ing. (FH) Markus Ridder (Softwaresimulation)
IMST GmbH
Abteilung Prüfzentrum
Carl-Friedrich-Gauß-Straße 2-4
47475 Kamp-Lintfort

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	4
1.1	Hintergrund	4
1.2	Grenzwerte für niederfrequente elektromagnetische Felder	4
2	Durchführung der Feldstärkeberechnungen	6
2.1	Arbeitsumfang	6
2.2	Randbedingungen	6
3	Ergebnisse der Feldstärkeberechnungen	8
3.1	Magnetisches Feld	8
3.2	Elektrisches Feld	10
4	Zusammenfassung	11
5	Literaturverzeichnis	12
6	Grenzwerte und ihre Festlegung	12

1 Aufgabenstellung

1.1 Hintergrund

Das aktuell unbebaute Gelände nördlich des Wilhelm-Kaulbach-Wegs in 84034 Landshut Münchnerau soll zukünftig für Wohnbebauung genutzt werden (Bild 1.1). Zudem ist dort die Errichtung eines öffentlichen Kinderspielplatzes geplant.

Den östlichen Teil des Baugebietes überspannt die 110-kV-Freileitung Nr. O50 Pfrombach - Altdorf der Bayernwerk Netz GmbH. Aus diesem Grund sollen die von der Freileitung im Bereich des Baugebiets erzeugten elektrischen und magnetischen Felder durch Berechnungen ermittelt und mit den in Deutschland geltenden Grenzwerten für die Allgemeinbevölkerung verglichen werden.

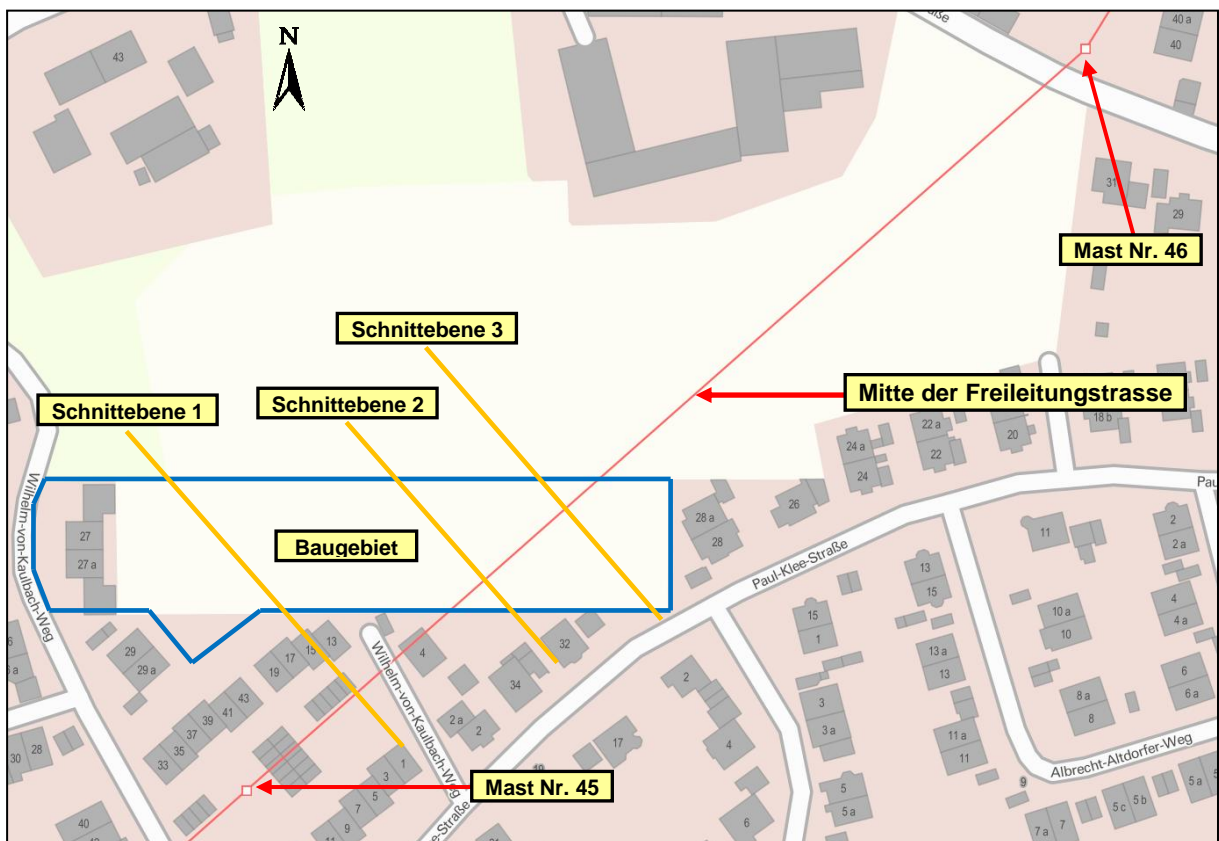


Bild 1.1 Untersuchungsgebiet mit vorhandener 110-kV-Freileitung Nr. O50 zwischen Mast Nr. 45 und 46 sowie den drei Schnittebenen für die Feldstärkeberechnung.

Die EM-Institut GmbH, Regensburg wurde mit der Ermittlung und Bewertung der Immissionen beauftragt und führt diese in Zusammenarbeit mit dem Prüfzentrum der IMST GmbH, Kamp-Lintfort durch.

1.2 Grenzwerte für niederfrequente elektromagnetische Felder

In der Umgebung von Anlagen der Energieversorgung entstehen grundsätzlich zwei Typen von Feldern, das *elektrische Feld*, das immer vorhanden ist, wenn eine Einrichtung "unter Spannung" steht und das *magnetische Feld*, das nur dann auftritt, wenn auch ein elektrischer Strom durch die Anlage fließt. Elektrisches und magnetisches Feld stehen bei allen Einrich-

tungen der Energieversorgung in keinem festen Verhältnis zu einander, da es sich hier um so genannte "Niederfrequenzfelder" handelt. Dies bedeutet, dass aus der Größe des einen Feldes nicht auf die Größe des anderen geschlossen werden kann. Aus diesem Grund sind in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen immer sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld zu ermitteln.

Für diese beiden Felder werden folgende physikalischen Symbole und Einheiten verwendet:

- Für niederfrequente *magnetische Felder*: Der Effektivwert der magnetischen Flussdichte B in Mikrottesla (μT).
- Für niederfrequente *elektrische Felder*: Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter (V/m) oder Kilovolt pro Meter (kV/m).

Im Unterschied zum magnetischen Feld, dessen Größe von den aktuell in den Leitungen fließenden Strömen bestimmt wird, sind die elektrischen Felder nicht von der Auslastung der Leitungen abhängig. Sie sind immer dann vorhanden, wenn die Leitungen "unter Spannung" stehen. Außerdem ist die Größe und die räumliche Verteilung der elektrischen Felder sehr stark von den aktuellen Umgebungsbedingungen (z.B. Luft- und Bodenfeuchte, vorhandener Bewuchs und Bebauung) abhängig, so dass häufig örtlich und zeitlich stark variierende Feldstärkewerte auftreten.

Grundsätzlich ist die Exposition der Allgemeinbevölkerung in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen für Deutschland in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) geregelt [26. BImSchV]. Nach 26. BImSchV zählen zu den Niederfrequenzanlagen beispielsweise Freileitungen und Erdkabel mit einer Spannung von 1.000 V oder mehr. Die hier zu betrachtende 110-kV-Freileitung fällt also unter die Regelungen der 26. BImSchV.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV für von Niederfrequenzanlagen erzeugte Felder mit einer Frequenz von 16 2/3 bzw. 50 Hz sind in Tabelle 1.1 angegeben. Weitere Informationen über die Grenzwerte für niederfrequente Felder finden sich in der Anlage zu diesem Bericht (Kapitel 6).

Frequenz	Grenzwert für die elektrische Feldstärke (Effektivwert)	Grenzwert für die magnetische Flussdichte (Effektivwert)
16 2/3 Hz	5 kV/m	300 μT
50 Hz	5 kV/m	100 μT

Tabelle 1.1 Grenzwerte nach 26. BImSchV für elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen mit einer Betriebsfrequenz von 16 2/3 bzw. 50 Hz.

Bahnstromleitungen werden mit 16 2/3 Hz, Hochspannungsleitungen der Energieversorgung hingegen mit 50 Hz betrieben, so dass bei der hier betrachteten Anlage für das elektrische Feld ein Grenzwert von 5 kV/m bzw. für das Magnetfeld ein Grenzwert von 100 μT anzuwenden ist.

Werden die in Tabelle 1.1 angegebenen Grenzwerte durch die verursachenden Anlagen am betrachteten Einwirkungsort nicht überschritten, so ist dort ein Daueraufenthalt von Personen

der Allgemeinbevölkerung ohne Einschränkungen möglich und somit auch z.B. die Errichtung von Wohngebäuden grundsätzlich zulässig.

Wie bereits oben erwähnt, ist die Stärke der in der Umgebung einer Freileitung entstehenden niederfrequenten Magnetfelder grundsätzlich abhängig von deren momentanen Strombelastung. Nach 26. BImSchV ist für den Grenzwertvergleich die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission heranzuziehen. Aus diesem Grund müssen für die Berechnung der Magnetfelder die größtmöglichen Ströme in den Leitungen angenommen werden.

2 Durchführung der Feldstärkeberechnungen

2.1 Arbeitsumfang

Um auch die entstehenden Feldstärken in verschiedenen Höhen über Grund einschätzen zu können, wurde im Rahmen dieser Immissionsuntersuchungen die vertikale Verteilung der magnetischen Felder durch drei Vertikalschnitte (Schnittebenen 1 bis 3; siehe Bild 1.1) senkrecht zum Trassenverlauf im Bereich des Untersuchungsgebiets ermittelt. Schnitt 1 verläuft hierbei durch den westlichen Teil des Baugebiets, während die Schnitte 2 und 3 im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets liegen. Dort ist mit höheren Feldstärkewerten zu rechnen, da sich dieser Teil des Baugebietes direkt im Bereich der Leitungstrasse befindet, während der westliche Teil deutlich weiter von der Freileitung entfernt ist. Zudem besitzt der Osten des Baugebiets einen größeren Abstand zum nächsten Mast (Nr. 45), so dass dort die Leitungen aufgrund des Durchhangs einen geringeren Abstand zum Erdboden aufweisen, als in den Bereichen näher am Mast.

Da niederfrequente Magnetfelder - im Gegensatz zu den elektrischen Feldern - weder durch Vegetation noch durch gewöhnliche Gebäudemauern nennenswert geschwächt werden, stellen diese im Regelfall im Gebäudeinneren, d.h. im Wohnumfeld die dominierende Feldgröße dar.

Um jedoch auch einen Eindruck über die Größe der entstehenden elektrischen Felder zu erhalten, wurde für Schnittebene 3 (d.h. den Bereich des betrachteten Gebiets mit größtem Leitungsdurchhang) zusätzlich die Verteilung der elektrischen Feldstärke berechnet. Es sei jedoch an dieser Stelle angemerkt, dass die dort ermittelten Werte so nicht innerhalb der Gebäude auftreten, sondern dort deutlich geringer ausgeprägt sein werden.

Die Exposition durch häusliche Quellen (z.B. elektrische Hausinstallation, E-Herd, Heizdecke, Fußbodenheizung), die durchaus die gleiche Größe oder auch höhere Werte im Vergleich zur Exposition, verursacht durch die Freileitung annehmen kann, wurde bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt.

2.2 Randbedingungen

Die Berechnungen der elektromagnetischen Felder wurden mit einer auf diese Aufgabenstellung zugeschnittenen, professionellen Berechnungssoftware durchgeführt. Es handelt sich dabei um das Programm "EFC 400 EP - Electric and Magnetic Field Calculation" (Version 2017) der Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie - FGEU mbH, Berlin.

Dieses Programm wird derzeit von sehr vielen Fachbüros, Umweltbehörden und Netzbetreibern bei der Ermittlung elektromagnetischer Felder im Personen- und Arbeitsschutz eingesetzt.

Die für die Berechnungen notwendigen technischen Anlagendaten wurden uns vom Betreiber (Bayernwerk Netz GmbH) zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden diese Parameter vorgestellt und erläutert.

Für den relevanten Abschnitt der Freileitung Nr. O50 (zwischen Mast Nr. 45 und Mast Nr. 46; siehe Bild 2.1) wurden uns Pläne und Unterlagen zur Verfügung gestellt, aus dem die wesentlichen für die Berechnungen notwendigen Informationen abgelesen werden können (z.B. Masthöhen, genaue Position der Leiter, maximaler Leiterdurchhang, topografische Höhenangaben, maximale Stromlast, Phasenbelegung). Die Freileitung trägt zwei voneinander unabhängige dreiphasige Stromkreise der 110-kV-Spannungsebene auf der rechten bzw. der linken Seite der beiden Querausleger).

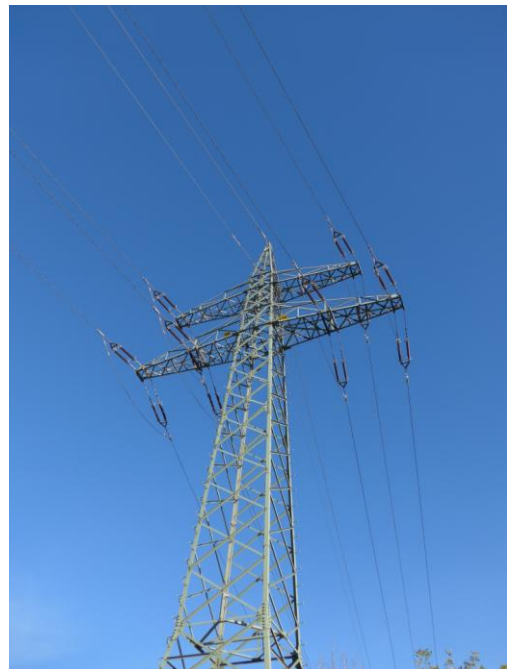


Bild 2.1 Links: Mast Nr. O45 von der Einmündung Wilhelm-von Kaulbach-Weg in die Paul-Klee-Straße aus gesehen; rechts: Mast Nr. O46 von der Mühlbachstraße aus gesehen.

Um den in der 26. BImSchV geforderten Fall der "höchsten betrieblichen Anlagenauslastung" wider zu spiegeln, wurden die Berechnungen der Magnetfelder für den Fall des maximal möglichen Stroms durchgeführt. Laut Angabe des Betreibers beträgt für diese Leitungstrasse der maximal mögliche Strom bei den beiden Systemen 632 Ampere pro Leiter (thermischer Grenzstrom). Zusätzlich wurde bei den Berechnungen der maximale Durchhang der Leiterseile angenommen, der bei sommerlichen Außentemperaturen und maximaler Stromlast auftritt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass dieser für alle Berechnungen angenommene Maximalstrom in der Realität - wenn überhaupt - nur sehr kurzzeitig auftritt, so dass die Berechnungen deutlich höhere Magnetfelder liefern, als es im täglichen Betrieb typischerweise der Fall ist.

3 Ergebnisse der Feldstärkeberechnungen

3.1 Magnetisches Feld

In diesem Abschnitt werden die magnetischen Felder, verursacht durch die Freileitung für die drei untersuchten Schnittebenen auf dem Baugebiet dokumentiert. Bei den Bildern ist jeweils die vertikale Feldverteilung in der betrachteten Ebene dargestellt, wobei die Blickrichtung parallel zur Leitungstrasse von Südwesten nach Nordosten gewählt wurde.

Bild 3.1 zeigt die vertikale Verteilung der magnetischen Flussdichte in Schnittebene 1, beginnend 20 Meter südöstlich der Trassenmitte bis zu einer Entfernung von etwa 100 Meter nordwestlich der Trassenmitte.

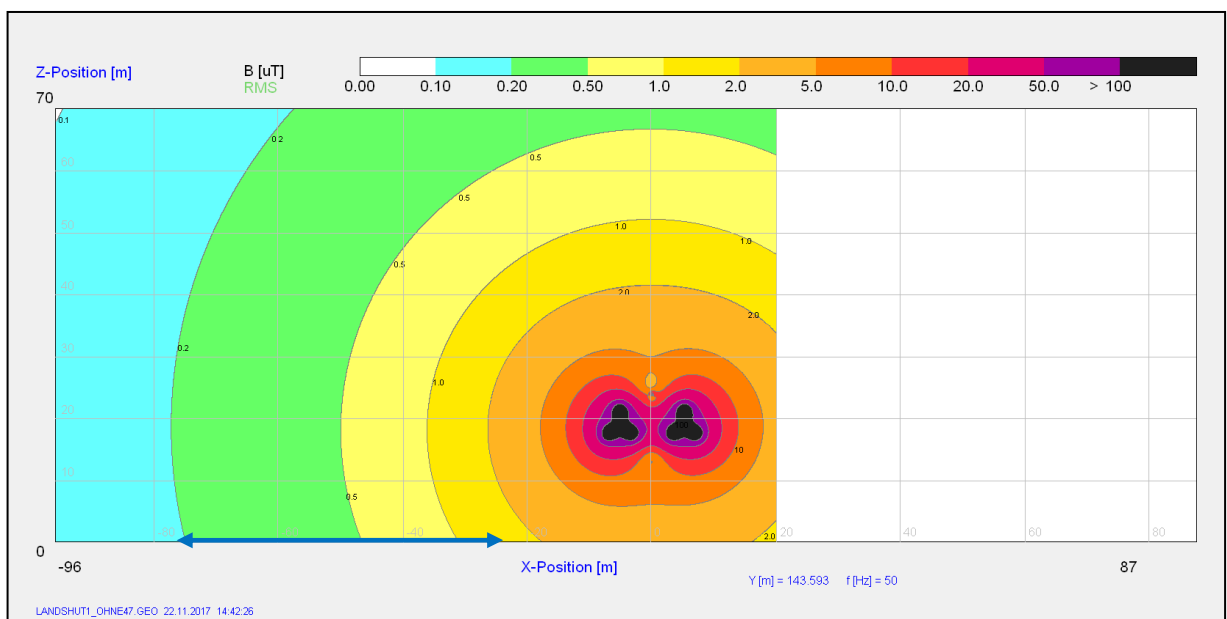


Bild 3.1 Verteilung der Magnetfeldes in Schnittebene 1 (Gitternetz: 20 x 10 Meter). Der blaue Doppelpfeil ganz unten im Bild zeigt die ungefähre Ausdehnung des betrachteten Neubaugebiets.

Bild 3.2 zeigt die vertikale Verteilung der magnetischen Flussdichte in Schnittebene 2, beginnend 35 Meter südöstlich der Trassenmitte bis zu einer Entfernung von 65 Meter nordwestlich der Trassenmitte. Die Ebene liegt somit im Bereich des geplanten öffentlichen Kinderspielplatzes

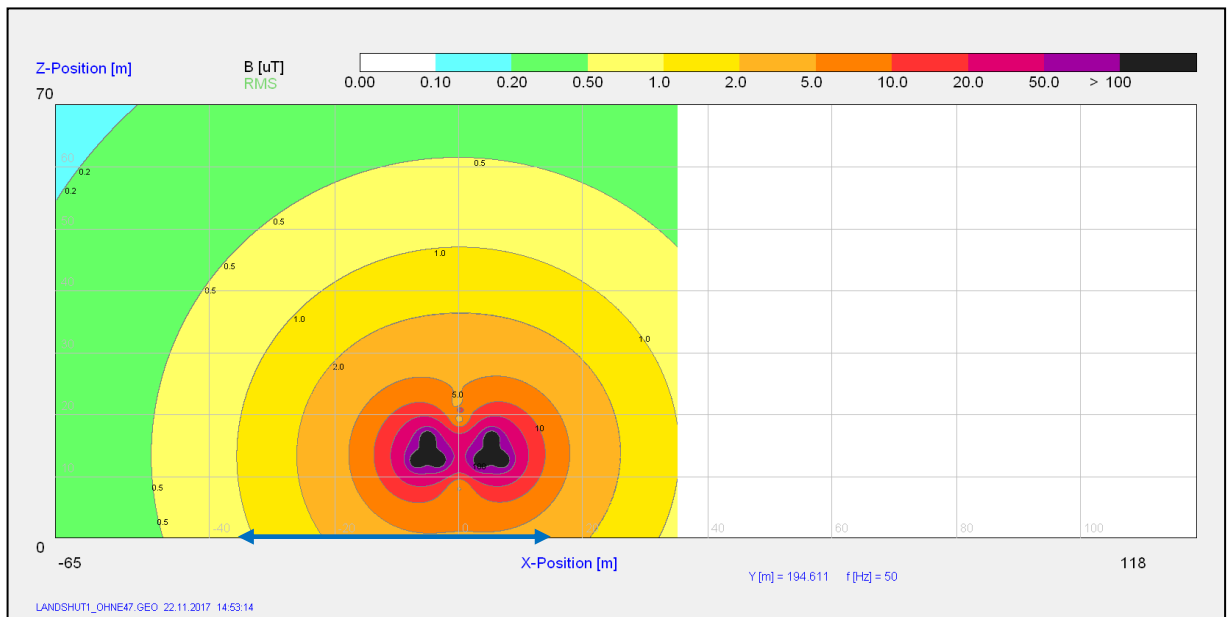


Bild 3.2 Verteilung der Magnetfeldes in Schnittebene 2 (Gitternetz: 20 x 10 Meter). Der blaue Doppelpfeil ganz unten im Bild zeigt die ungefähre Ausdehnung des betrachteten Neubaugebiets.

Bild 3.3 zeigt die vertikale Verteilung der magnetischen Flussdichte in Schnittebene 3, beginnend 40 Meter südöstlich der Trassenmitte bis zu einer Entfernung von 60 Meter nordwestlich der Trassenmitte. Die Ebene liegt somit im Bereich der östlichsten geplanten Wohnbebauung.

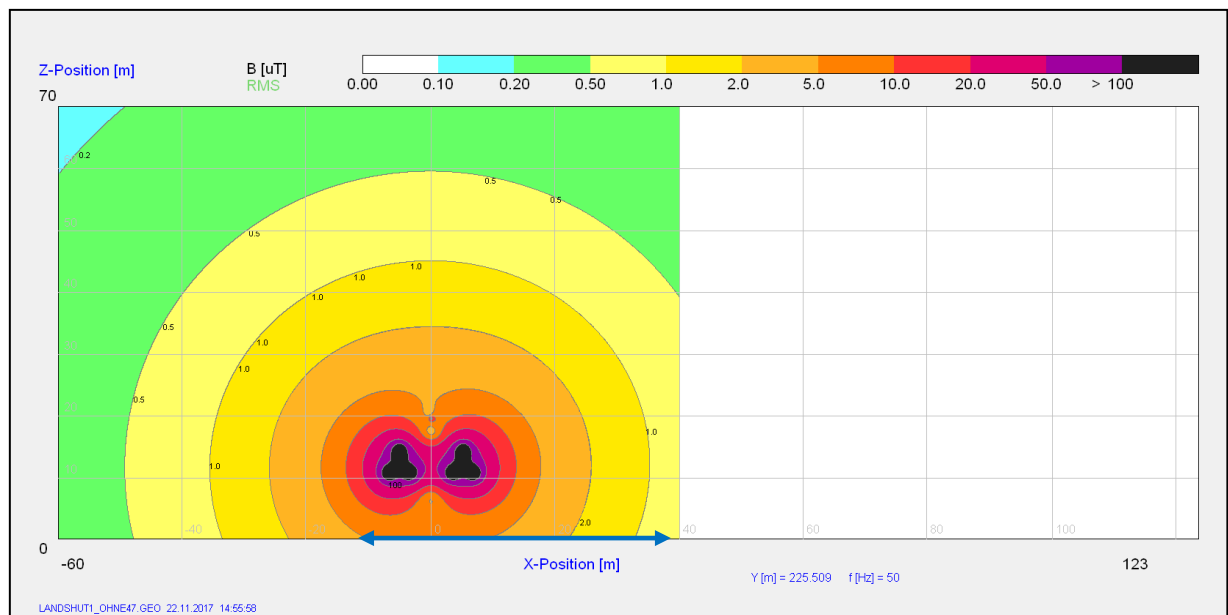


Bild 3.3 Verteilung der Magnetfeldes in Schnittebene 3 (Gitternetz: 20 x 10 Meter). Der blaue Doppelpfeil ganz unten im Bild zeigt die ungefähre Ausdehnung des betrachteten Neubaugebiets.

Bereiche mit Flussdichtewerten größer 100 μT sind in den obigen drei Bildern jeweils schwarz gefärbt. Man erkennt, dass diese nur in unmittelbarer Nähe der Leiterseile auftreten.

Bei Einhaltung des vom Betreiber aus Gründen der elektrischen Sicherheit (z.B. wegen der Gefahr eines Lichtbogenüberschlags) geforderten Mindestabstands zu den Leiterseilen von fünf Meter [EON 13] treten keine Felder größer als 100 μT auf. Vielmehr ergeben sich für die drei Schnittebenen in etwa folgende Bereiche der zu erwartenden Flussdichtewerte:

Schnitt 1: 0,2 - 5 μT

Schnitt 2: 1 - 10 μT

Schnitt 3: 1 - 20 μT

Bei einem anzuwendenden Grenzwert von 100 μT findet sich also im zu betrachtenden Baugebiet im Bereich der maximal zulässigen Bebauungshöhe bei höchster Stromlast der Freileitung eine maximale Grenzwertausschöpfung von etwa 20 Prozent.

3.2 Elektrisches Feld

In Bild 3.4 werden die elektrischen Felder in der Umgebung der Freileitung für Schnittebene Nr. 3 dokumentiert. Dieser Schnitt stellt wegen des größten Leiterdurchhangs die ungünstigste Situation auf dem Baugebiet dar. Es ist wieder die Blickrichtung von Südwesten nach Nordosten gewählt.

Der Einfluss von Gebäuden und Vegetation wurde bei dieser Simulation nicht berücksichtigt.

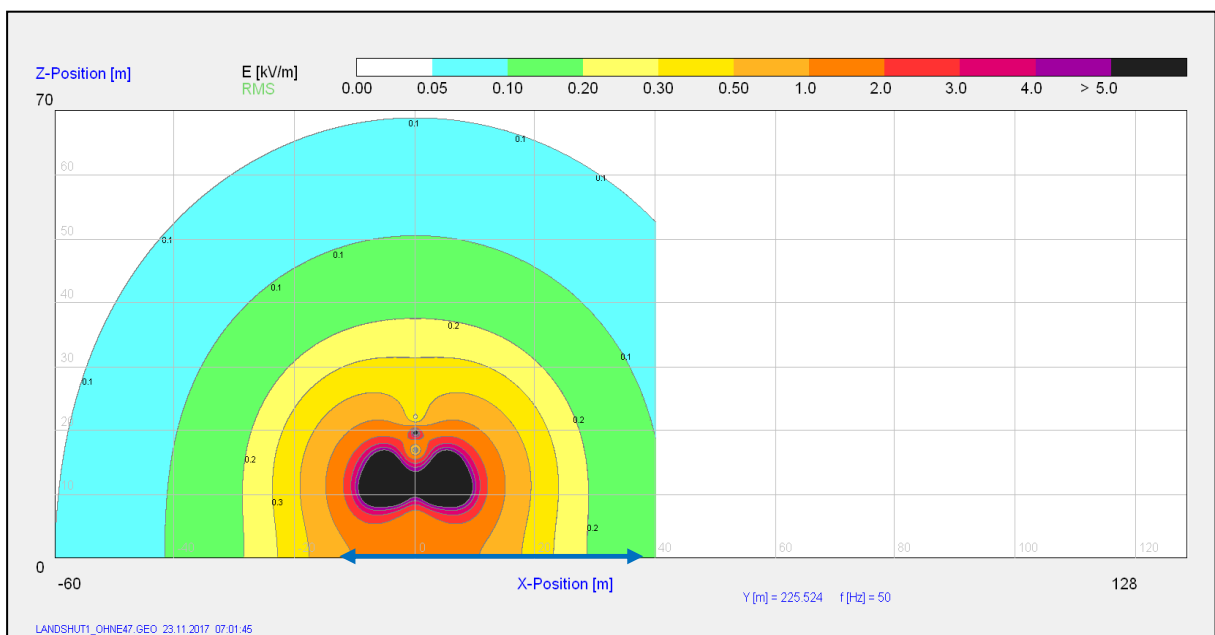


Bild 3.4 Verteilung der elektrischen Feldes in Schnittebene 3 (Gitternetz: 20 x 10 Meter). Der blaue Doppelpfeil ganz unten im Bild zeigt die ungefähre Ausdehnung des betrachteten Neubaugebiets.

Bereiche mit Feldstärkewerten größer 5 kV/m sind in Bild 3.4 schwarz gefärbt. Man erkennt, dass diese nur in unmittelbarer Nähe der Leiterseile auftreten.

Bei Einhaltung des vom Betreiber aus Gründen der elektrischen Sicherheit geforderten Mindestabstands zu den Leiterseilen von fünf Meter [EON 13] treten keine Felder größer als 5 kV/m auf. Die im Freien zu erwartende elektrische Feldstärke bewegt sich im betrachteten Gebiet in etwa zwischen 0,2 und 3 kV/m. Bei einem anzuwendenden Grenzwert von 5 kV/m ergibt sich hier also eine maximale Grenzwertausschöpfung von etwa 60 Prozent.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Gutachtens sollten die elektrischen und magnetischen Felder berechnet und mit den Grenzwerten der 26. BImSchV verglichen werden, die durch eine Hochspannungsfreileitung der Bayernwerk Netz GmbH im Bereich eines geplanten Neubaugebietes in Landshut Münchenerau generiert werden.

Besondere Beachtung gebührt hierbei den entstehenden Magnetfeldern, da diese - im Gegensatz zu den elektrischen Feldern - weder durch Vegetation noch durch gewöhnliche Gebäudemauern nennenswert geschwächt werden. Sie stellen daher im Regelfall im Gebäudeinneren, d.h. im Wohnumfeld die dominierende Feldgröße dar.

Um den in der 26. BImSchV geforderten Fall der "höchsten betrieblichen Anlagenauslastung" wider zu spiegeln, wurden die Berechnungen der Magnetfelder für den Fall des technisch maximal möglichen Stroms durchgeführt.

Die Berechnungen erbrachten folgende wesentliche Ergebnisse:

- Der nach 26. BImSchV anzuwendende Grenzwert für **magnetische Felder** der Frequenz 50 Hz wird im Bereich der geplanten Wohnbebauung bei maximaler Anlagenauslastung an den ungünstigsten Orten (d.h. im kürzesten zulässigen Abstand zu den Leiterseilen) zu etwa **20 Prozent** erreicht.
- Der nach 26. BImSchV anzuwendende Grenzwert für **elektrische Felder** der Frequenz 50 Hz wird im Bereich der geplanten Wohnbebauung an den ungünstigsten Orten (d.h. im kürzesten zulässigen Abstand zu den Leiterseilen) zu etwa **60 Prozent** erreicht.
- Zusammenfassend kann man also festhalten, dass die nach 26. BImSchV für die Allgemeinbevölkerung geltenden Grenzwerte für das elektrische bzw. das magnetische Feld im betrachteten Baugebiet bei maximaler Anlagenauslastung auch noch im kürzesten zulässigen Abstand zu den Leiterseilen **unterschritten** werden, so dass dort ein Daueraufenthalt von Personen der Allgemeinbevölkerung ohne Einschränkungen möglich und somit auch z.B. die Errichtung von Wohngebäuden grundsätzlich zulässig ist.

Regensburg, 24. November 2017



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

5 Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, Bundesgesetzblatt Jg. 2013, Teil I, Nr.50, Bonn 21.08.2013.
- [EON 13] Schreiben der E.ON Netz GmbH an Ingenieurbüro Rengstl vom 11.07.2013

6 Grenzwerte und ihre Festlegung

In diesem Kapitel sollen ergänzend einige Informationen über die Philosophie, die hinter den internationalen Grenzwerten für niederfrequente elektromagnetische Felder steht, zur Verfügung gestellt werden.

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen werden üblicherweise die folgenden Größen verwendet:

- Der Effektivwert der elektrischen Feldstärke E in Volt pro Meter (V/m) oder Kilovolt pro Meter (kV/m).,
- der Effektivwert der magnetischen Flussdichte B in Tesla (T) oder Mikrottesla (μT).

Die Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" (26. BImSchV) [26. BImSchV] verbindlich geregelt. Die hierin festgelegten Grenzwerte für Niederfrequenzimmissionen der Betriebsfrequenzen 16 2/3 bzw. 50 Hz sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Frequenz	Grenzwert für die elektrische Feldstärke (Effektivwert)	Grenzwert für die magnetische Flussdichte (Effektivwert)
16 2/3 Hz	5 kV/m	300 μT
50 Hz	5 kV/m	100 μT

Tabelle 6.1 Grenzwerte nach 26. BImSchV für elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen der Betriebsfrequenz 16 2/3 bzw. 50 Hz.

Folgendes Vorgehen wird bei der Festlegung der Immissionsgrenzwerte für nicht ionisierende Strahlung angewandt:

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICNIRP) erarbeitet Grenzwertempfehlungen auf der Basis des aktuellen Forschungsstandes. Grundlage ist die von der WHO und der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam durchgeführte Bewertung der aktuellen wissenschaftlichen Befunde. Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in den so genannten "Environmental Health Criteria" (z.B. EHC Doc.137) zusammengefasst und als

Buch veröffentlicht. In regelmäßigen Abständen prüft die ICNIRP den aktuellen Stand der Forschung und entscheidet darüber, ob eine Aktualisierung der Grenzwerte erforderlich ist. Die aktuellen Empfehlungen der ICNIRP für Niederfrequenz stammen aus dem Jahr 2010.

Die ICNIRP wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) sowie der Europäischen Union als die staatlich unabhängige Organisation anerkannt, die Grenzwerte im Bereich nicht ionisierender Strahlung empfiehlt.

Das Prinzip des Personenschutzes bei niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern beruht auf der Begrenzung der im Körper auftretenden Stromdichten (bzw. der im Körperinneren auftretenden elektrischen Feldstärken). Um diese Sicherheit zu gewährleisten, ist der Basisgrenzwert so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die Körperstromdichte, ab der Wirkungen auf den Menschen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen werden können. Bei Personen, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit während der gesamten täglichen Arbeitszeit (typisch bis zu 8 Stunden) niederfrequenten Feldern ausgesetzt sind, dürfen also maximal Immissionen auftreten, die um den Faktor 10 unter der Grenze für nachgewiesene Gesundheitsbeeinträchtigungen liegen.

Aus Gründen einer zusätzlichen Sicherheit, wird für die Allgemeinbevölkerung (d.h. alle Personengruppen) der Grenzwert für die Dauerexposition (24h-Wert) nochmals um den Faktor 5 gegenüber dem Arbeitsplatzwert reduziert, so dass hier insgesamt eine Unterschreitung um den Faktor 50 bezüglich wissenschaftlich nachgewiesener negativer Gesundheitswirkungen vorliegt.

Da Stromdichten bzw. elektrische Felder im Körperinneren im allgemeinen schwierig zu bestimmen sind, werden in einem weiteren Schritt "abgeleitete Grenzwerte" ("Referenzwerte") für die leichter zu messende elektrische Feldstärke bzw. magnetische Flussdichte aus den Basisgrenzwerten ermittelt. Sie sind so gewählt, dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte unterschritten werden.