

Elektrische und magnetische Felder in der Umgebung einer elektrifizierten Bahnstrecke

Beurteilung der Einhaltung der Vorgaben nach 26. BImSchV im
Bereich eines benachbarten Neubauareals

Auftraggeber: BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH
Morellstraße 33
86159 Augsburg

Ort: Ziegelländeweg - Im Gleisdreieck
89077 Ulm

Projektnummer: 21/021

Ort und Datum: Regensburg, 10. Mai 2021

Auftragnehmer:

EM-Institut GmbH
Carlstraße 5
93049 Regensburg
Tel.: 0941-298365-0
Fax: 0941-298365-2

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek
E-Mail: matthias.wuschek@em-institut.de

Auftraggeber:

BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH
Herr Johann Storr
Morellstraße 33
86159 Augsburg
Tel.: 0821-34779-11
E-Mail: johann.storr@bekon-akustik.de

Projektnummer: 21/021
Version: 1.1
Ort und Datum: Regensburg, 10. Mai 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	4
2	Immissionsbewertung für niederfrequente Felder	5
2.1	Feldimmissionen in der Umgebung von Anlagen der elektrischen Energieversorgung.....	5
2.2	Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV.....	5
3	Beispielhafte Feldstärkeberechnungen.....	7
4	Ergebnisse der Immissionsberechnungen	8
4.1	Magnetfeld	8
4.2	Elektrisches Feld.....	9
5	Zusammenfassung.....	10
6	Literaturverzeichnis	11
7	Grenzwerte und ihre Festlegung.....	12
8	Charakterisierung der Bahntrasse.....	14

1 Aufgabenstellung

Im Ziegelländeweg in 89077 Ulm ist im Bereich des Gleisdreiecks die Errichtung eines neuen Bürogebäudes geplant. Nordöstlich und westlich des Grundstücks verlaufen jeweils eine mehrgleisige Bahnstrecke, wobei die nordöstliche Strecke (Ulm - Augsburg) elektrifiziert ist. An der westlichen Strecke (Ulm - Friedrichshafen) befindet sich zwar ebenfalls eine Oberleitung, diese endet jedoch nach etwa 250 Meter, so dass auf dieser Strecke maximal Rangierbetrieb mit elektrischen Lokomotiven stattfinden kann. Die Lage des geplanten Gebäudes sowie die beiden Bahntrassen sind in Bild Nr. 1.1 ersichtlich.

Anlässlich des Neubauvorhabens soll eine Beurteilung bezüglich der Größe der Immissionen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder für den Bereich geplanten Gebäudes vorgenommen werden. Die EM-Institut GmbH (Regensburg) wurde mit dieser Immissionsbeurteilung beauftragt.

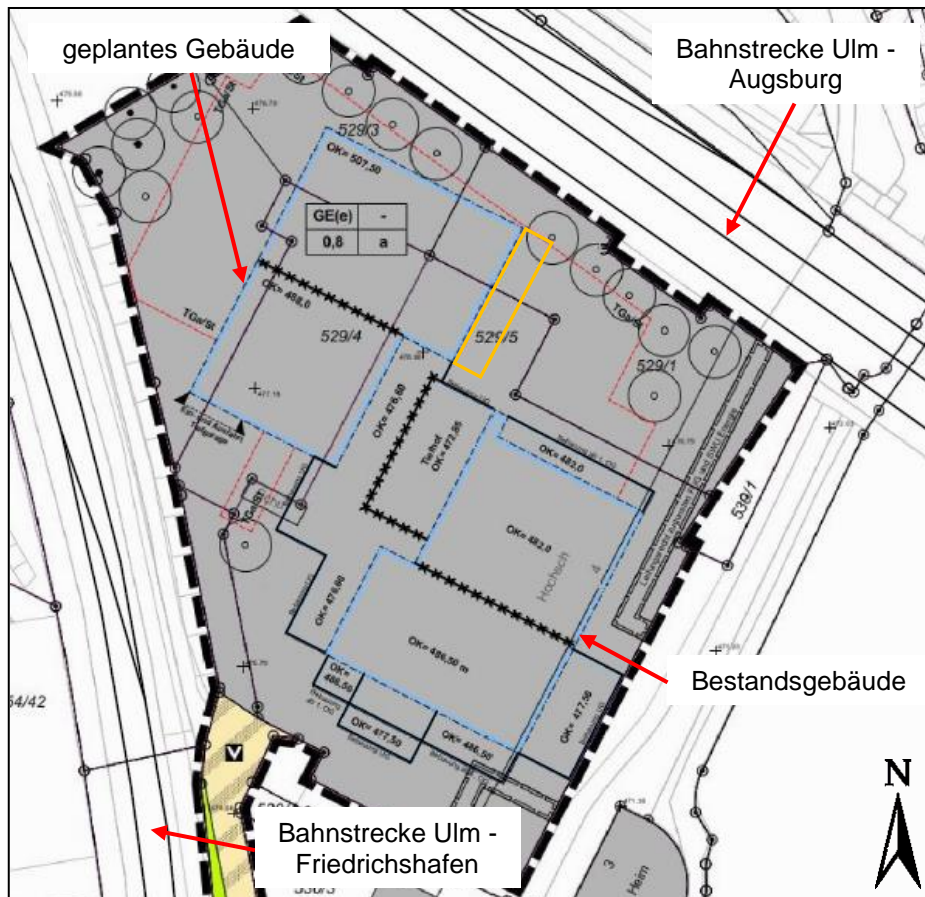


Bild 1.1 Gleisdreieck "Ziegelländeweg": Im nördlichen Teil des grau gefärbten Gebietes befindet sich das neu geplante Gebäude (blauer Umriss) Nordöstlich bzw. westlich davon sind die Gleise der beiden Bahntrassen zu erkennen.

Im Rahmen dieses Gutachtens ist folgende Frage zu beantworten:

Kann damit gerechnet werden, dass die Vorgaben der 26. BImSchV bezüglich des Schutzes der Allgemeinbevölkerung vor niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern, verursacht durch die in der unmittelbaren Umgebung befindliche Bahnstromversorgung, eingehalten werden?

2 Immissionsbewertung für niederfrequente Felder

2.1 Feldimmissionen in der Umgebung von Anlagen der elektrischen Energieversorgung

In der Umgebung von Anlagen der elektrischen Energieversorgung (z.B. Freileitungen, Bahnoberleitungen, Erdkabel, Umspannwerke, Transformatorstationen) entstehen grundsätzlich zwei Typen von Feldern, das *elektrische Feld* und das *magnetische Feld*. Zur Beschreibung dieser 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 elektrischen Feld, dessen Größe nicht von den aktuell in den Leitungen der Anlage fließenden Strömen beeinflusst wird, ist die Größe der magnetischen Felder direkt von der Stromlast abhängig. Die magnetische Flussdichte in der Umgebung eines Leiters verhält sich hierbei direkt proportional zum Strom im Leiter. Bei Verdopplung des Leiterstroms verdoppelt sich also auch das Magnetfeld. Diese Eigenschaft ist bei der Bewertung von niederfrequenten Magnetfeldern der Energieversorgung zu berücksichtigen.

Elektrischen Felder sind hingegen nicht von der Stromauslastung der Leitungen abhängig. Sie sind immer dann vorhanden, wenn die Leitungen "unter Spannung" stehen, wobei die elektrische Feldstärke proportional zur Betriebsspannung zunimmt. Allerdings sind die Größe und die räumliche Verteilung der elektrischen Felder auch 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. Niederfrequente Magnetfelder werden hingegen von der Umgebung (Vegetation, Erdboden, Gebäudemauern) nur wenig beeinflusst.

Elektrisches und magnetisches Feld stehen bei allen Einrichtungen der elektrischen Energieversorgung somit in keinem festen Verhältnis zu einander. 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 derartiger Anlagen immer sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld getrennt zu betrachten.

2.2 Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV

Der Schutz von Personen der Allgemeinbevölkerung gegenüber den Einflüssen durch Niederfrequenzanlagen ist 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 Oberleitungen mit einer Spannung von 1 kV oder mehr. Die in dieser Untersuchung zu betrachtenden 15-kV-Bahnoberleitungen fallen also unter die Regelungen der 26. BImSchV.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV für von Niederfrequenzanlagen erzeugte Felder mit einer Frequenz von 16,7 Hz (Bahnstromversorgung) beziehungsweise 50 Hz (allgemeine Energieversorgung) sind in Tabelle 1.1 angegeben. Weitere Informationen über die Grenzwerte für niederfrequente Felder finden sich in Kapitel 7 dieses Gutachtens.

Frequenz	Grenzwert für die elektrische Feldstärke (Effektivwert)	Grenzwert für die magnetische Flussdichte (Effektivwert)
16,7 Hz	5 kV/m	300 μ T
50 Hz	5 kV/m	100 μ T

Tabelle 2.1 Grenzwerte nach 26. BImSchV für elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen mit einer Betriebsfrequenz von 16,7 beziehungsweise 50 Hz [26. BImSchV].

Nach §3 der 26. BImSchV sind die in Tabelle 2.1 dokumentierten Grenzwerte an allen Orten im "Einwirkungsbereich" der Anlage einzuhalten, die zum "nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen" bestimmt sind. Der "Einwirkungsbereich" einer Niederfrequenzanlage beschreibt den Bereich, in dem die Anlage einen "signifikanten von der Hintergrundbelastung abhebenden Immissionsbeitrag" verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen [LAI 14]. Bei Bahnüberleitungen ist dieser vergleichsweise klein, er beschränkt sich auf einen jeweils zehn Meter breiten Streifen zu beiden Seiten des äußersten vorhandenen Gleises (gerechnet von der Gleismitte aus) [LAI 14]. Außerhalb dieser Streifen ist es nicht notwendig, die Einhaltung der Vorgaben nach 26. BImSchV zu prüfen, da aufgrund des Abstandes davon ausgegangen werden kann, dass diese auf jeden Fall eingehalten werden.

Gemäß den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planunterlagen beträgt der minimale Abstand zwischen dem geplanten Gebäude und der Mitte des äußersten Gleises der Bahnstrecke Ulm - Augsburg etwa 12 Meter. Der ebenfalls als zum "nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen" bestimmte Rand des Außenbewirtungsbereichs des vorgesehenen Restaurants (siehe orange umrandeter Bereich in Bild 1.1) besitzt einen Abstand zum Gleis von mindestens 10 Meter. Demnach ist hier eine genaue rechnerische Analyse der zu erwartenden Immissionen nicht notwendig. Zur Verdeutlichung wird dies in den Kapiteln 3 und 4 anhand eines "Worst-Case"-Zahlenbeispiels untermauert.

Die Abstände vom Gebäude zum ersten Gleis der westlichen Bahntrasse (Ulm - Friedrichshafen) sind deutlich größer (ca. 18 m). Daher sind im Bereich des nordöstlichen Gebäudeteils die größeren Feldimmissionen zu erwarten. Zudem findet auf der westlichen Trasse maximal elektrischer Rangierbetrieb statt.

Das Netz für die Bahnstromversorgung wird in Deutschland mit Wechselstrom der Frequenz 16,7 Hz, die Leitungen und Anlagen der allgemeinen elektrischen Energieversorgung werden hingegen mit Drehstrom der Frequenz 50 Hz (oder - in seltenen Fällen - mit Gleichstrom) betrieben, so dass bei den hier betrachteten Bahnüberleitungen gemäß Tabelle 2.1 für das Magnetfeld ein Grenzwert von 300 μ T und für das elektrische Feld ein Grenzwert von 5 kV/m anzuwenden sind.

Bei Einhaltung dieser Grenzwerte ist dann am betrachteten Ort ein Daueraufenthalt von Personen der Allgemeinbevölkerung ohne Einschränkungen möglich.

Wie oben bereits erwähnt, ist die Stärke der in der Umgebung einer Bahnoberleitung entstehenden niederfrequenten Magnetfelder erheblich abhängig von deren momentaner Strombelastung. Nach 26. BImSchV ist für den Grenzwertvergleich die bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung entstehende Immission heranzuziehen. Aus diesem Grund müssen bei der Ermittlung der Magnetfelder die größtmöglichen Ströme in den Oberleitungen angenommen werden. Genaueres dazu findet sich im nächsten Kapitel.

3 Beispielhafte Feldstärkeberechnungen

Um die entstehenden Feldstärken in der unmittelbaren Umgebung der Bahntrasse einschätzen zu können, wurde beispielhaft die vertikale Verteilung der elektrischen und magnetischen Felder durch einen Vertikalschnitt senkrecht zum Verlauf der Bahnstrecke ermittelt.

Die Berechnungen der elektrischen bzw. magnetischen Felder wurden mit einer für diese Aufgabenstellung speziell zugeschnittenen professionellen Berechnungssoftware durchgeführt. Es handelt sich hierbei 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 Personenschutz und der Arbeitssicherheit eingesetzt.

Die für die Berechnungen notwendigen technischen Anlagendaten wurden von uns aus einschlägigen Literaturquellen entnommen. Im Folgenden werden einige dieser Parameter kurz vorgestellt und erläutert.

Typische Gleisabstände und Bemaßungen der Oberleitungen wurden einer umfangreichen Studie zum Themengebiet "Feldimmissionen bei Bahnstromanlagen" entnommen [NYD 14] und sind als Anlage diesem Gutachten beigelegt (Kapitel 8).

Für die Berechnung des elektrischen Feldes ist die Betriebsspannung die entscheidende Größe. Nominell werden Bahnoberleitungen mit einer Spannung von 15 kV betrieben. Allerdings können nahe am Ort der Einspeisung (Unterwerk) auch höhere Spannungswerte auftreten, damit auch unter Last in größerer Entfernung vom Einspeiseort noch eine ausreichend große Spannung vorhanden ist. Daher wird in dieser Simulation mit der nach ENV 50121-2 maximal zulässigen Spannung von 17,25 kV gerechnet [ENV 50121-2].

Die Magnetfelder sind hingegen von der Größe des im Fahrdraht fließenden Strom abhängig. Zur Sicherstellung einer "Worst-Case"-Abschätzung wird bei der Berechnung davon ausgegangen, dass zwei Züge gleichzeitig auf der Strecke fahren und jeweils einen sehr großen Strom ziehen. Angenommen wurden in beiden Oberleitungen jeweils 1.500 A mit gleicher Flussrichtung (das entspricht gemäß [HOF 17] je einem ICE-3 in Doppeltraktion bei der Anfahrt).

4 Ergebnisse der Immissionsberechnungen

In diesem Kapitel werden die räumlichen Verteilungen der beispielhaft berechneten Effektivwerte der durch die Bahnoberleitungen verursachten elektrischen bzw. magnetischen Felder dargestellt und den anzuwendenden Grenzwerten gegenübergestellt.

4.1 Magnetfeld

Bild 4.1 zeigt zunächst die Verteilung des magnetischen Feldes senkrecht zur Bahntrasse (Blickrichtung senkrecht zur Schnittebene in Richtung des Streckenverlaufs). Die horizontale Ausdehnung des Schnittbildes verläuft hierbei von -18 bis +17 Meter relativ zur Mitte zwischen den beiden Bahngleisen. Aufgrund des als identisch angenommenen Stroms in beiden Fahrdrähten ergibt sich eine symmetrische Feldverteilung. Bereiche mit Immissionen von mehr als 300 μT (d.h. mehr als 100 Prozent Grenzwertausschöpfung) sind schwarz gefärbt. Man erkennt, dass diese nur in unmittelbarer Nähe der Fahrdrähte und der Schienen (Rückleiter) auftreten.

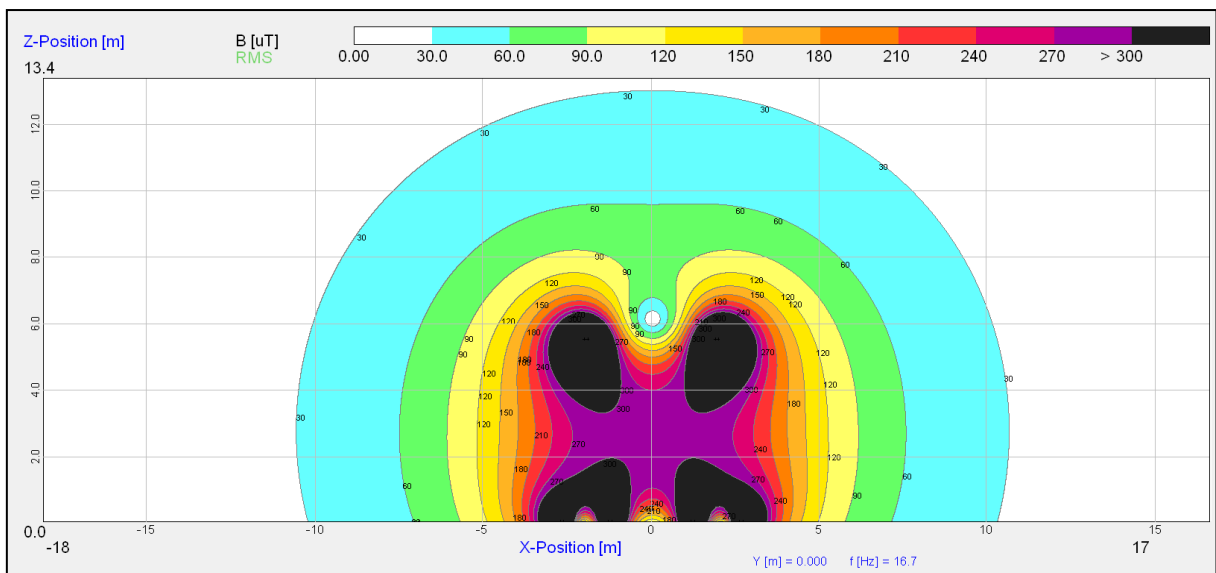


Bild 4.1 Verteilung des magnetischen Feldes senkrecht zur Bahntrasse (Gitternetz: 5 x 2 Meter) für eine Stromlast von 2 x 1.500 A.

Bild 4.1 kann man entnehmen, dass außerhalb der Bahntrasse bereits etwa acht Meter neben der Mitte des ersten Bahngleises Magnetfeldimmissionen von weniger als 30 μT (d.h. Grenzwertausschöpfung kleiner als zehn Prozent) auftreten.

Zudem sei an dieser Stelle nochmals darauf verwiesen, dass die Magnetfelder sehr konservativ ermittelt wurden (Gleichzeitige Anfahrt von zwei Zügen mit sehr hoher Leistung) und in dieser Größenordnung auch nur für vergleichsweise kurze Zeiträume vorhanden wären.

4.2 Elektrisches Feld

In Bild 4.2 ist die Verteilung des elektrischen Feldes senkrecht zur Bahntrasse dargestellt (Blickrichtung senkrecht zur Schnittebene in Richtung des Streckenverlaufs). Die horizontale Ausdehnung des Schnittbildes verläuft hierbei von -10 bis +11 Meter relativ zur Mitte zwischen den beiden Bahngleisen. Bereiche mit Immissionen von mehr als 5 kV/m (d.h. mehr als 100 Prozent Grenzwertausschöpfung) sind schwarz gefärbt. Man erkennt, dass diese nur in unmittelbarer Nähe der Fahrdrähte auftreten.

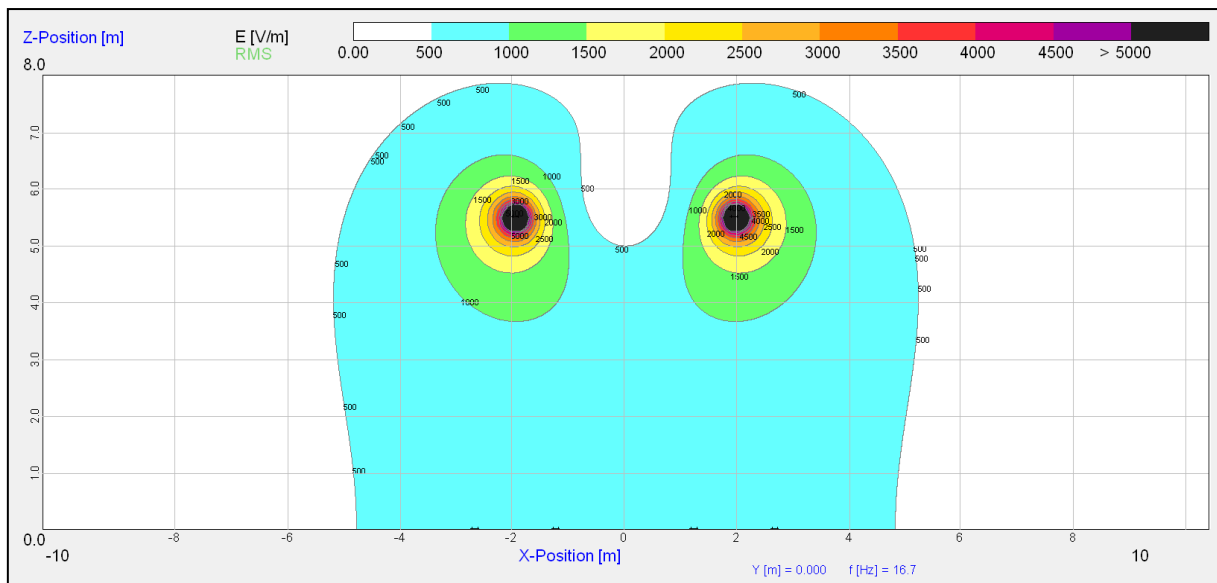


Bild 4.2 Verteilung des elektrischen Feldes senkrecht zur Bahntrasse (Gitternetz: 2 x 1 Meter) für eine Oberleitungsspannung von 17,25 kV.

Bild 4.1 kann man entnehmen, dass außerhalb der Bahntrasse bereits etwa drei Meter neben der Mitte des Bahngleises elektrische Felder von weniger als 0,5 kV/m (d.h. Grenzwertausschöpfung kleiner als zehn Prozent) verursacht werden.

5 Zusammenfassung

Anlässlich des Neubauvorhabens soll eine Beurteilung bezüglich der Größe der Immissionen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder, verursacht durch eine elektrifizierte Bahnstrecke für den Bereich eines Gebäudes (Ziegelländeweg - Im Gleisdreieck, 89077 Ulm) vorgenommen werden.

Obwohl die Abstände von der Mitte des ersten Gleises zur geplanten Bebauung größer als 10 Meter sind und daher nach [LAI 14] keine expliziten Berechnungen notwendig sind, da bereits durch den Abstand die Einhaltung der Vorgaben der 26. BImSchV sichergestellt ist, wurden zur Verdeutlichung exemplarisch typische Feldverteilungen senkrecht zur Bahntrasse berechnet.

Um den in der 26. BImSchV geforderten Fall der "höchsten betrieblichen Anlagenauslastung" wieder zu spiegeln, wurden die Berechnungen der Magnetfelder für den Fall einer ungewöhnlich großen Stromlast (2 x 1.500 A in den beiden am nächsten gelegenen Fahrleitungen) durchgeführt. Bei der Berechnung der elektrischen Felder wurde von der theoretisch größten Betriebsspannung (17,25 kV) ausgegangen.

Die Berechnungen erbrachten folgende wesentliche Ergebnisse:

- Bereiche mit Immissionen von mehr als 100 Prozent Grenzwertausschöpfung treten nur in unmittelbarer Nähe der Fahrdrähte (elektrisches und magnetisches Feld) und der Schienen (nur Magnetfeld) auf.
- Für den Bereich außerhalb der Bahntrasse wurden bereits etwa acht Meter neben der Mitte des ersten Bahngleises Magnetfeldimmissionen von weniger als 30 μT ermittelt. Der Grenzwert nach 26. BImSchV für das magnetische Feld wird somit dort nur noch zu zehn Prozent ausgeschöpft.
- Für den Bereich außerhalb der Bahntrasse wurden bereits etwa drei Meter neben der Mitte des ersten Bahngleises elektrische Felder von weniger als 0,5 kV/m ermittelt. Der Grenzwert nach 26. BImSchV für das elektrische Feld wird somit dort nur noch zu zehn Prozent ausgeschöpft.
- Die Grenzwertvorgaben der 26. BImSchV werden somit im Bereich der geplanten Bebauung und des vorgesehenen Außenbereichs des Restaurants im Planungsgebiet "Ziegelländeweg - Im Gleisdreieck" sicher eingehalten.

Regensburg, 10. Mai 2021



Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

6 Literaturverzeichnis

- [26. BImSchV] **26. BImSchV**, *Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV)*, Bundesgesetzblatt Jg. 2016, Teil I, Nr.50, Bonn 21.08.2013.
- [ENV 50121-2] **ENV 50121-2**, *Bahnwendungen; Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 2: Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt*, DIN EN 50121-2 (VDE 0115-121-2); 05/2001.
- [HOF 17] **M. Hoffmann**, *Elektromagnetische Felder im Alltag*, Informationsschrift der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg und des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Karlsruhe, Augsburg 2017.
- [LAI 14] **Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI)**, *Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV*, 128. Sitzung der Bund- / Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz am 17. und 18.9.2014 in Landshut; 09/2014; Internet: www.lai-immissionsschutz.de
- [NYD 14] **S. Nydegger**, *Maßnahmen zur Reduktion der Magnetfelder bei mit Wechselstrom betriebenen Eisenbahnen; Dokumentation der Ergebnisse*, ENOTRAC AG; Thun; 03/2014

7 Grenzwerte und ihre Festlegung

Dieses Kapitel liefert ergänzend einige Informationen über die Philosophie, die hinter den Grenzwerten für niederfrequente elektrische bzw. magnetische Felder steht.

Für die Beurteilung der Feldintensität in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen werden üblicherweise die folgenden physikalischen Größen und Einheiten 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 elektrischer und magnetischer Felder ist in Deutschland in der "26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" [26. BImSchV] verbindlich geregelt. Die dort festgelegten Grenzwerte für Niederfrequenzimmissionen der für die Energietechnik besonders wichtigen Betriebsfrequenzen 16,7 bzw. 50 Hz sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Frequenz	Grenzwert für die elektrische Feldstärke (Effektivwert)	Grenzwert für die magnetische Flussdichte (Effektivwert)
16,7 Hz	5 kV/m	300 μT
50 Hz	5 kV/m	100 μT

Tabelle 7.1 Grenzwerte nach 26. BImSchV für elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Niederfrequenzanlagen der Betriebsfrequenz 16,7 bzw. 50 Hz.

Diese Grenzwerte sind anzuwenden, wenn die Feldemissionen von ortsfesten Anlagen zur Erzeugung, Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1.000 Volt (= 1 kV) oder mehr, einschließlich Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstiger vergleichbarer Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 9 kHz verursacht werden. Einzuhalten sind die Grenzwerte an allen Orten im "Einwirkungsbereich der Anlage", die zum "nicht nur vorübergehenden Aufenthalt" von Menschen der Allgemeinbevölkerung bestimmt sind.

Folgendes Vorgehen wird bei der Festlegung der Grenzwerte für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder angewandt:

Die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (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 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 Niederfrequenzfelder stammen aus dem Jahr 2010.

Die ICNIRP wird u.a. 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, wird der "Basisgrenzwert" so gewählt, dass er um den Faktor 10 niedriger liegt, als die Körperstromdichte, ab der negative 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.

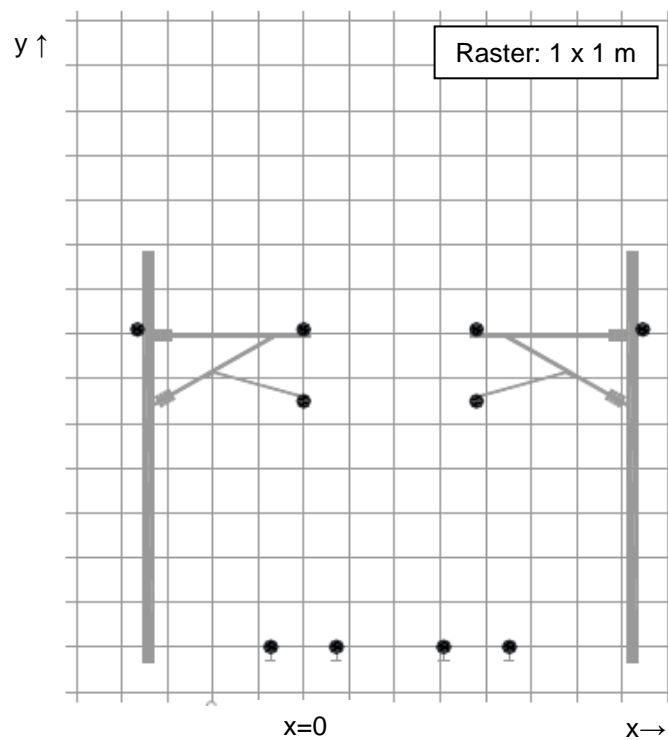
Aus Gründen einer zusätzlichen Sicherheit, wird für die Allgemeinbevölkerung (d.h. alle nicht beruflich exponierten Personengruppen) der Grenzwert für die Dauerexposition (24h-Wert) nochmals um den Faktor 5 gegenüber dem Arbeitsplatzwert reduziert, so dass hier insgesamt eine Unterschreitung um den Faktor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

Da Stromdichten bzw. elektrische Felder im Körperinneren in der messtechnischen Praxis nur schwer zu bestimmen sind, werden in einem weiteren Schritt von der ICNIRP aus den Basisgrenzwerten sogenannte "abgeleitete Grenzwerte" ("Referenzwerte") für die einfacher zu messende externe (d.h. außerhalb des Körpers maximal zulässige) elektrische Feldstärke bzw. magnetische Flussdichte ermittelt (siehe Tabelle 7.1). Sie sind so gewählt, dass bei einer Einhaltung der abgeleiteten Grenzwerte auf jeden Fall sichergestellt ist, dass bei Aufenthalt einer Person in einem derartigen Feld auch die dazugehörigen Basisgrenzwerte im Körperinneren unterschritten werden.

8 Charakterisierung der Bahntrasse

Die simulierte zweigleisige Strecke wurde wie folgt charakterisiert:

Bezeichnung	x [m]	y [m]
Fahrdraht Gleis 1	0,00	5,50
Schiene links Gleis 1	-0,72	0,00
Schiene rechts Gleis 1	0,72	0,00
Fahrdraht Gleis 2	3,80	5,50
Schiene links Gleis 2	3,08	0,00
Schiene rechts Gleis 2	4,52	0,00



Rückleiterseile und das Tragseil wurden nicht in die Berechnungen einbezogen, es wurde also angenommen, dass der komplette Fahrstrom im Fahrdraht fließt, was eine konservative Annahme darstellt.