

Untersuchung elektromagnetischer Felder

Vorhabenbezogener Bebauungs- und Grün-
ordnungsplan Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ in
Ingolstadt

Bericht Nr. 700-6109-1-EM

im Auftrag der

Bau- und Immobilienverwaltung Fäth

63741 Aschaffenburg

München, im September 2021

Untersuchung elektromagnetischer Felder

Vorhabenbezogener Bebauungs- und Grünordnungsplan
Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ in Ingolstadt

Bericht-Nr.: 700-6109-1-EM

Datum: 06.09.2021

Auftraggeber: Bau- und Immobilienverwaltung Fäth
Mörswiesenstr. 9-11
63741 Aschaffenburg

Auftragnehmer: Möhler + Partner Ingenieure AG
Beratung in Schallschutz + Bauphysik
Landaubogen 10
D-81373 München
T + 49 89 544 217 - 0
F + 49 89 544 217 - 99
www.mopa.de
info@mopa.de

Bearbeiter: P. Zobel, M. Sc.
Dipl.-Ing. (FH) C. Eulitz, M. Eng.

Inhaltsverzeichnis:

1. Aufgabenstellung	8
2. Örtliche Gegebenheiten	8
3. Grundlagen.....	9
4. Messung der elektromagnetischen Felder.....	13
4.1 Messort, Messzeit und Messdurchführung	13
4.2 Messgerät	13
4.3 Messergebnisse	14
5. Simulation der elektromagnetischen Felder	16
5.1 Eingabeparameter.....	16
5.2 Simulationsergebnisse.....	17
6. Beurteilung der elektromagnetischen Felder.....	21
6.1 Zusatzbelastung durch Hochfrequenzanlagen.....	21
6.2 Einwirkungen auf den Menschen.....	22
6.3 Einwirkungen auf Geräte und Anlagen	22
7. Anlagen	24

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Messergebnisse B-Feld (oben) und E-Feld (unten) bei 16,7 Hz	14
Abbildung 2:	Messergebnisse B-Feld (oben) und E-Feld (unten) ohne Frequenzfilter	15
Abbildung 3:	Regelquerschnitt OL Re 200 (exemplarisch für 2-gleisige Strecke)	16
Abbildung 4:	Horizontalraster der magnetischen Flussdichte (B-Feld), Berechnungshöhe h = 7,15 m üGOK für das 1. Obergeschoss des geplanten Bahnhofgebäudes	17
Abbildung 5:	Horizontalraster der elektrischen Feldstärke (E-Feld), Berechnungshöhe h = 7,15 m üGOK für das 1. Obergeschoss des geplanten Bahnhofgebäudes	18
Abbildung 6:	Vertikalraster der magnetischen Flussdichte (B-Feld), für das geplante Hochhaus mit 16 Geschossen.....	19
Abbildung 7:	Vertikalraster der elektrischen Feldstärke (E-Feld), für das geplante Hochhaus mit 16 Geschossen	20
Abbildung 8:	Ortsfeste Sendeanlagen 9 kHz – 10 MHz, BNetzA, Stand: 11.11.2019	22

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Maßgebende Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen gem. Anhang 1a der 26. BImSchV, Anhang 1a (zu §3): Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen	10
Tabelle 2:	Höchstzulässige Effektivwerte für die elektrische Feldstärke sowie die magnetische Flussdichte für den Expositionsbereich 2 nach UVV.....	12
Tabelle 3:	Witterungsbedingungen am Tag der Messung.....	13
Tabelle 4:	Anhaltswerte für die Mindeststörfestigkeiten technischer Geräte.....	23

Grundlagenverzeichnis:

- [1] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV); Verordnung über elektromagnetische Felder in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2013 (BGBl. I S. 3266)
- [2] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV (26. BImSchVVwV), (BAnz AT 03.03.2016 B5), vom 26. Februar 2016
- [3] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) in der überarbeiteten Fassung gem. Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz, 128.Sitzung vom 17. und 18. September 2014
- [4] Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK); Bonn 14.09.2001
- [5] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BGV B11 (VBG 25) – UVV Elektromagnetische Felder, Juni 2001
- [6] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), 26. September 2002, in der aktuellen Fassung
- [7] Hintergrundpapier: Grenzwerte im Bereich niederfrequenter Felder (u. a. Stromübertragung), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Februar 2013
- [8] DIN EN 50413; VDE 0848-1:2009-08, Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); Deutsche Fassung EN 50413:2008, August 2009
- [9] DIN EN 50182 Leiter für Freileitungen – Leiter aus konzentrisch verseilten runden Drähten, Dezember 2001
- [10] DB-Richtlinie 997 Modul 0102; Oberleitungsanlagen; Oberleitungsanlagen planen und errichten; 1.1.2001
- [11] DB-Richtlinie 997 Modul 0201; Oberleitungsanlagen; Grundsätze für Rückstromführung, Bahnerdung, Potenzialausgleich; 1.3.2013
- [12] DB-Richtlinie 800 Modul 0130; Netzinfrastruktur Technik entwerfen; Streckenquerschnitte auf Erdkörpern; 1.2.1997
- [13] DB-Richtlinie 819 Modul 0803; LST-Anlagen planen Beeinflussung und Schutzmaßnahmen Starkstrombeeinflussungen durch das Bahnsystem induktive Beeinflussung – Berechnung; 20.12.1996

-
- [14] WinField, Version 2018, Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie mbH (FGEU)
 - [15] Entwurf des vorhabenbezogenen Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 109 N „Hauptbahnhof“ Stand 23.07.2021
 - [16] Vorhaben- und Erschließungspläne zum vorhabenbezogenen Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 109 N – „Hauptbahnhof“, Architekturbüro Kammerl + Kollegen, Stand 08.07.2021
 - [17] Oberleitungspläne, DB Netze, übermittelt per Mail von Fr. Fleckenstein (Bau- und Immobilienverwaltung Fäth) am 18.09.2019
 - [18] Standardnachweis „26. BImSchV Nachweis der Grenzwerteinhaltung an 15 kV-Standard-Oberleitungsanlagen der DB Netz AG“, 14-22168-T.TVI34(1)-BE-1902-V2.0, DB Systemtechnik, Fachabteilung EMV, LST und Übertragungstechnik I.IVP 24(5), 29.02.2016

Zusammenfassung:

Die Bau- und Immobilienverwaltung Fäth überplant im Rahmen des vorhabenbezogenen Bebauungsplanverfahrens Nr. 109 N den Hauptbahnhof (Hbf) Ingolstadt. Das Planvorhaben befindet sich im Einwirkungsbereich der elektrifizierten Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen). Von den Bahnanlagen gehen elektromagnetische Felder aus. Für das Planvorhaben wurden die elektrischen Feldstärken und die magnetischen Flussdichten gemessen und berechnet. Die Untersuchung kommt zu den folgenden Ergebnissen:

- Die gemessenen B-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen bis zu 4,4 μT im Bereich des Bahnhofgebäudes. Im Mittel liegen die Flussdichten bei ca. 1 μT . Die gemessenen E-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen bis zu 0,23 kV/m.
- Ein Vergleich der Messergebnisse für die Netzfrequenz von 16,7 Hz mit Messungen ohne Band- oder Hochpass (5 Hz bis 400 kHz) zeigt nur geringfügig höhere Feldstärken im Frequenzbereich von 5 Hz bis 400 kHz. Es bestehen somit nur sehr geringfügige Einwirkungen von anderen Anlagen/ Leitungen im Umfeld des Hbf Ingolstadt.
- Die in den Simulationen berechneten B-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen unter Berücksichtigung einer höchsten betrieblichen Anlagenauslastung bis zu 50 μT im Bereich des Bahnhofgebäudes. Die berechneten E-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen bis zu 0,3 kV/m.
- Die Grenzwerte der 26. BImSchV für die magnetische Flussdichte ($G_{M,16,67} = 300 \mu\text{T}$) und die elektrische Feldstärke ($G_{E,16,67} = 5 \text{ kV/m}$) werden zuverlässig eingehalten. Für das Planvorhaben sind keine schädlichen Einwirkungen aus elektromagnetischen Feldern i.S. der 26. BImSchV zu erwarten.

1. Aufgabenstellung

Die Bau- und Immobilienverwaltung Fäth überplant im Rahmen eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanverfahrens den Hauptbahnhof (Hbf) Ingolstadt. Neben den Bahnhofsnutzungen (Empfangsgebäude, Schalterhalle, Büros der DB etc.) im EG und 1. OG sind im Hochhaus bis zum 16. OG Büro- und Verwaltungsnutzungen vorgesehen.

Das Planvorhaben befindet sich unmittelbar westlich der bestehenden Bahnanlagen des Hauptbahnhofs Ingolstadt mit den elektrifizierten Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen). Von den Bahnanlagen gehen elektromagnetische Felder aus. Für das Planvorhaben ist deswegen eine Untersuchung der elektrischen Feldstärken und der magnetischen Flussdichten zu erstellen und gem. der 26. BImSchV zu beurteilen.

Aufgrund von zwischenzeitlichen Planänderungen in der Gebäudehöhe und Gebäudenutzung ist eine Überarbeitung der Untersuchung erforderlich.

Mit der Durchführung der Untersuchung wurde die Möhler + Partner Ingenieure AG am 19.08.2019 von der Bau- und Immobilienverwaltung Fäth beauftragt.

2. Örtliche Gegebenheiten

Der Geltungsbereich des B-Plan Nr. 109 N umfasst die Baufläche des gegenwärtigen Bahnhofgebäudes des Hbf Ingolstadt. Als Art der baulichen Nutzung wird ein „Bahnhofsgebäude mit Büro- und Verwaltungsnutzung“ festgesetzt.

Östlich des bestehenden bzw. geplanten Bahnhofgebäudes verlaufen die Bahnanlagen des Hbf Ingolstadt mit den elektrifizierten Bahnstrecken 5382 (Ingolstadt – Augsburg), 5501 (Ingolstadt – Treuchtlingen) und 5851 (Regensburg – Neuoffingen). Zudem verläuft östlich des Plangebäudes in einem Abstand von ca. 8 m eine Speiseleitung (SL, 2 x 240 mm² Alu). Ein Lageplan mit dem Planvorhaben und den elektrifizierten Bahnstrecken sowie der Speiseleitung ist in Anlage 1 enthalten.

Das Plangebiet und der weitere Umgriff sind im Wesentlichen eben.

3. Grundlagen

Rechtsgrundlage für die Beurteilung der Einwirkung elektrischer und magnetischer Felder auf Menschen ist die Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26 BImSchV) [1] in der Fassung vom 14. August 2013.

Mit Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz (in seiner 128. Sitzung) [3] wurden im September 2014 die Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder überarbeitet. Die darin enthaltenen Erläuterungen und Empfehlungen sollen die Verfahrensweise des Vollzugs der Novelle der 26. BImSchV (i. d. F. vom 14.08.2013) bundesweit vereinheitlichen. Gem. § 1 der 26. BImSchV [1] sind:

„[...]1. Hochfrequenzanlagen:

ortsfeste Anlagen, die elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 9 Kilohertz bis 300 Gigahertz erzeugen, ausgenommen sind Anlagen, die breitbandige elektromagnetische Impulse erzeugen und der Landesverteidigung dienen,

2. Niederfrequenzanlagen:

ortsfeste Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1000 Volt oder mehr, einschließlich Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstiger vergleichbarer Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hertz bis 9 Kilohertz,

3. Gleichstromanlagen: [...]“

Die Grenzwerte der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte sind in § 2 (Hochfrequenzanlagen) und § 3 (Niederfrequenzanlagen) mit dem dazugehörigen Anhang 1 festgelegt. Für Niederfrequenzanlagen gilt:

„§ 3 Niederfrequenzanlagen

(1) Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind Niederfrequenzanlagen, die vor dem 22. August 2013 errichtet worden sind, so zu betreiben, dass sie in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung die im Anhang 1a genannten Grenzwerte nicht überschreiten, wobei Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hertz die Hälfte des in Anhang 1a genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten dürfen. Dabei bleiben, soweit nicht im Einzelfall hinreichende Anhaltspunkte für insbesondere durch Berührungsspannungen hervorgerufene Belästigungen bestehen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer für die Nachbarschaft unzumutbar sind, außer Betracht

1. kurzzeitige Überschreitungen der Grenzwerte nach Satz 1 in Verbindung mit Anhang 1a um nicht mehr als 100 Prozent mit einer Dauer von nicht mehr als 5 Prozent eines Beurteilungszeitraumes von einem Tag und

2. kleinräumige Überschreitungen der Grenzwerte der elektrischen Feldstärke nach Satz 1 in Verbindung mit Anhang 1a um nicht mehr als 100 Prozent außerhalb von Gebäuden.

(2) Zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen sind Niederfrequenzanlagen, die nach dem 22. August 2013 errichtet werden, so zu errichten und zu betreiben, dass sie bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung in ihrem Einwirkungsbereich an Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, die im Anhang 1a genannten Grenzwerte nicht überschreiten, wobei Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hertz die Hälfte des in Anhang 1a genannten Grenzwertes der magnetischen Flussdichte nicht überschreiten dürfen. Bestehende Genehmigungen und Planfeststellungsbeschlüsse bleiben unberührt.

(3) Bei der Ermittlung der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte nach Absatz 1 und Absatz 2 sind alle Immissionen zu berücksichtigen, die durch andere Niederfrequenzanlagen sowie durch ortsfeste Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz, die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, gemäß Anhang 2a entstehen.

(4) Wirkungen wie Funkenentladungen auch zwischen Personen und leitfähigen Objekten sind zu vermeiden, wenn sie zu erheblichen Belästigungen oder Schäden führen können.“

Folgende Tabelle zeigt die maßgebenden Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen gem. Anhang 1a der 26. BImSchV:

Tabelle 1: Maßgebende Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen gem. Anhang 1a der 26. BImSchV, Anhang 1a (zu §3): Grenzwerte für Niederfrequenzanlagen		
Frequenz (f) in Hertz (Hz)	Grenzwerte	
	Elektrische Feldstärke in Kilovolt pro Meter (kV/m) (effektiv)	Magnetische Flussdichte in Mikrottesla (μT) (effektiv)
0	-	500
1 - 8	5	$40\,000 / f^2$
8 - 25	5	$5\,000 / f$
25 - 50	5	200
50 - 400	$250 / f$	200
400 - 3 000	$250 / f$	$80\,000 / f$
3 000 - 10 000 000	0,083	27

Die o.g. Grenzwerte $G_{E,16,67} = 5 \text{ kV/m}$ und $G_{M,16,67} = 300 \text{ }\mu\text{T}$ sind für den hier betrachteten Frequenzbereich von 16 2/3 Hz gegenüber der bisherigen Fassung der 26. BImSchV (1996) bzw. den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission für Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern [4] mit 10 kV/m und 300 μ T lediglich im Bereich der Elektrischen Felder geringer. Eine gewisse Verschärfung der Beurteilung ergibt sich allerdings aus der notwendigen Summenbetrachtung der NF und HF Grenzwertanteile zur Berücksichtigung der Gesamtbelastung. Da die

Strahlenschutzkommission bisher bereits empfohlen hatte, die Grenzwerte nicht voll auszuschöpfen, stellt die Verringerung des Grenzwertes keine völlig neue Erkenntnis dar.

Nach § 3 der 26 BImSchV ist zur Beurteilung der elektromagnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen die höchste betriebliche Anlagenauslastung maßgeblich. Die höchste betriebliche Auslastung ist nach II.3.3 in [3] durch eine technische Grenze charakterisiert. Der maximale betriebliche Dauerstrom einer Freileitung oder eines Erdkabels wird festgelegt z. B. durch den thermisch maximal zulässigen Dauerstrom (z. B. Strombelastbarkeit nach DIN 50182 [9]), die maximal zulässige Übertragungsleistung oder die maximale Erzeugerleistung. In den vorliegenden Simulationen zur Ermittlung der elektromagnetischen Felder wird die thermisch maximal zulässige Dauerstrombelastbarkeit angesetzt. Die Standardnachweise für eisenbahnrechtliche Genehmigungsverfahren [18] sind ebenfalls auf der Grundlage der Dauerstrombelastbarkeit erstellt. Die Simulation der elektrischen und magnetischen Felder basiert demnach auf Berechnungen, die unter der Annahme ungünstigster Betriebsbedingungen (maximaler Traktionsstrom/ Kurzschlussfall) – bei höchster betrieblicher Auslastung i. S. der 26 BImSchV – vorgenommen werden. Die tatsächlichen Feldstärken im Bereich von Oberleitungsanlagen sind im Regelfall deutlich geringer. Zur Ermittlung der tatsächlich vorhandenen elektromagnetischen Felder wurden orientierende Messungen durchgeführt.

Nach Anhang 2a der 26. BImSchV müssen die Immissionsbeiträge der elektrischen und magnetischen Felder aller Niederfrequenzanlagen und von Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz folgende Bedingungen erfüllen:

$$\sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{E,i}}{G_{E,i}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \sum_{1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{I_{M,i}}{G_{M,i}} \leq 1$$

$I_{E,i}$: Immissionsbeitrag des elektrischen Feldes bei der Frequenz i im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

$I_{M,i}$: Immissionsbeitrag des magnetischen Feldes bei der Frequenz i im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

$G_{E,i}$: Grenzwert der elektrischen Feldstärke bei der Frequenz i im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

$G_{M,i}$: Grenzwert der magnetischen Flussdichte bei der Frequenz i im Bereich von 1 Hz bis 10 MHz

Zu der Grenzwertbildung im Bereich der niederfrequenten Felder wird auf das Hintergrundpapier des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vom Februar 2013 verwiesen [7].

Die Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit [5] hat in den Unfallverhütungsvorschriften (UVV) für elektromagnetische Felder für eine dauerhafte Exposition (Expositionsbereich 2) folgende höchstzulässigen Effektivwerte für die elektrische Feldstärke, sowie die magnetische Flussdichte definiert:

Tabelle 2: Höchstzulässige Effektivwerte für die elektrische Feldstärke sowie die magnetische Flussdichte für den Expositionsbereich 2 nach UVV		
Frequenz (f) in Hertz (Hz)	Grenzwerte	
	Effektivwert der elektrischen Feldstärke in kV/m	Effektivwert der magnetischen Flussdichte in mT ⁽¹⁾
0 - 1	20	21,22
1 - 16,67	20	21,22/ f
16,67 - 1 000	333,3/ f	21,22/ f

⁽¹⁾Über Flächenelemente von 100 cm² zu mitteln

Die in der UVV enthaltenen Grenzwerte sind bei 16 2/3 Hz sowohl für das elektrische Feld mit 20 kV/m als auch für die magnetische Flussdichte mit 1.270 µT deutlich über den Grenzwerten der 26. BImSchV.

4. Messung der elektromagnetischen Felder

4.1 Messort, Messzeit und Messdurchführung

Als Grundlage zur Beurteilung der elektrischen und magnetischen Felder für das Planvorhaben Hbf Ingolstadt wurden Messungen im bestehenden Bahnhofsgebäude durchgeführt. Als Messort wurde ein nach Osten, zu den Bahnanlagen liegendes Fenster im 2. OG des Bahnhofgebäudes gewählt. Ein Lageplan mit dem Messort ist in Anlage 1 dargestellt. Für das bestehende Bahnhofsgebäude entspricht der gewählte Messort, aufgrund der benachbarten Speiseleitung (Abstand ca. 10 m), dem ungünstigsten Immissionsort. Für das geplante Hochhaus am Hbf Ingolstadt würde sich der Abstand zur Speiseleitung auf ca. 8 m verringern. Die Messungen geben jedoch einen ersten Anhaltspunkt auf die zu erwartenden Immissionen durch elektromagnetische Felder.

Die messtechnische Untersuchung wurde am Donnerstag, den 07.11.2019 in der Zeit von 10:00 Uhr bis 14:00 Uhr durchgeführt. Während der Messung herrschten in etwa die folgenden Witterungsbedingungen (Wetteraufzeichnung für Ingolstadt vom 07.11.2019):

Messzeit	Temperatur [°C]	Rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Witterung
10:00 – 14:00 am 07.11.2019	10	85	sonnig bis bewölkt

Das Messgerät wurde bei geöffnetem Fenster mittig in Fensterebene platziert (1,5 m über Deckenoberkante). Über eine Messdauer von jeweils ca. 1 Stunde wurden die elektrischen Feldstärken (E-Feld) und die magnetischen Flussdichten (B-Feld) zunächst bei 16,7 Hz (Netzfrequenz von Bahnstromanlagen) und anschließend frequenzabhängig (ohne Band- oder Hochpass) im Frequenzbereich von 5 Hz bis 400 kHz erfasst, sodass der Einfluss von eventuellen anderen Anlagen/ Leitungen ebenfalls gemessen wurde. Die Messung erfolgte in Anlehnung an DIN EN 50413/ VDE 0848-1 [8]. Eine fotografische Dokumentation des Messaufbaus kann der Anlage 2 entnommen werden.

4.2 Messgerät

Die Messungen wurden mit dem folgenden Messgerät durchgeführt:

3D H/E Fieldmeter, Elektro- und Magnetfeldmessgerät mit Sensor „ESM-100“ von Maschek Elektronik, Serien-Nr. 972319, normkonforme Messungen nach VDE 0848, BGV B11, EN 50366 etc., kalibriert am 09.07.2014 in Bad Wörishofen (ISO/IEC 17025:2005)

4.3 Messergebnisse

Magnetische Felder verhalten sich instationär und anisotrop. Die Feldstärke bzw. Flussdichte variiert je nach Versorgungszustand (Stromfluss) der Oberleitungsanlage während der Messung, d.h. Peaks der magnetischen Flussdichte treten z.B. während Zugvorbeifahrten auf. Im Gegensatz dazu ist das elektrische Feld der Oberleitungsanlage unmittelbar von der Versorgungsspannung abhängig und deshalb weitestgehend stationär. Im Folgenden sind die Messergebnisse für die Netzfrequenz der Bahnstromanlagen bei 16,7 Hz dargestellt.

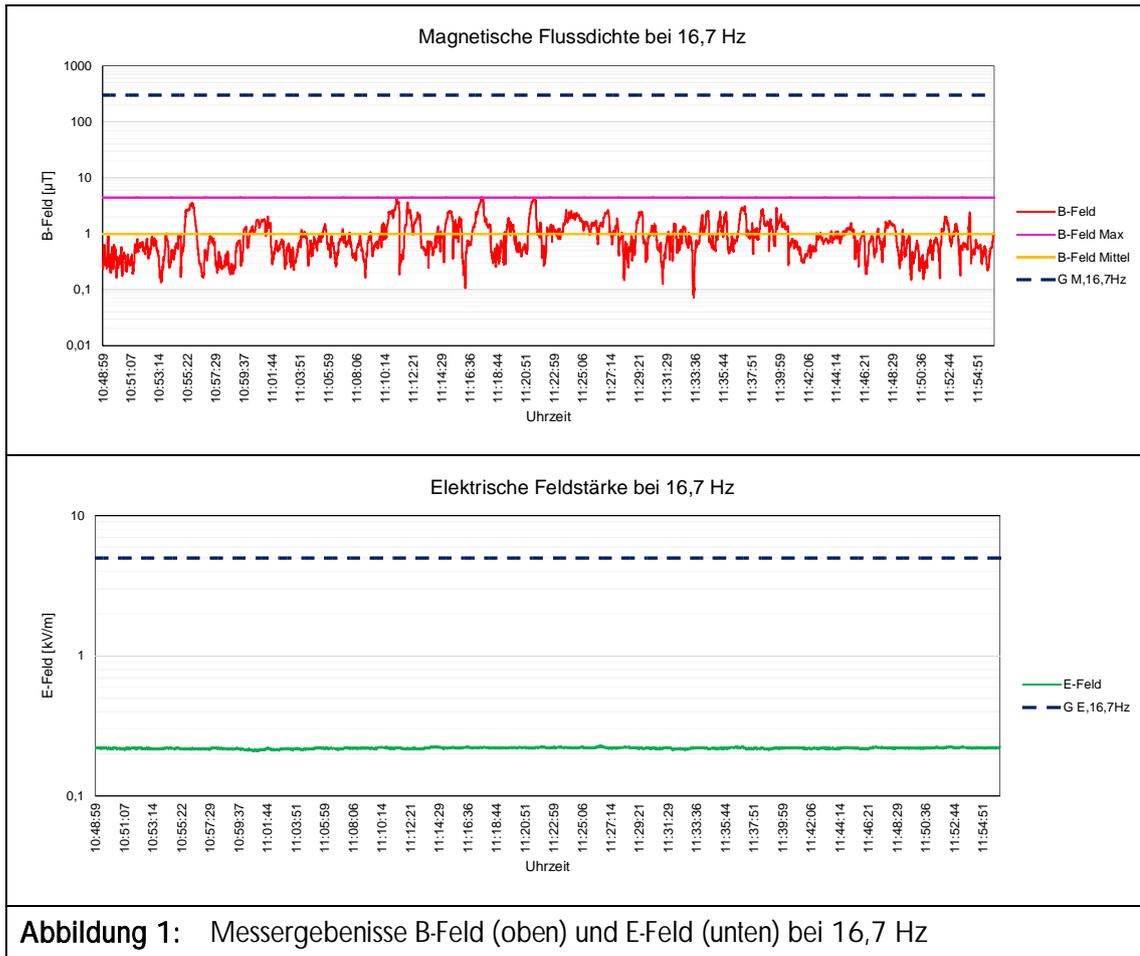
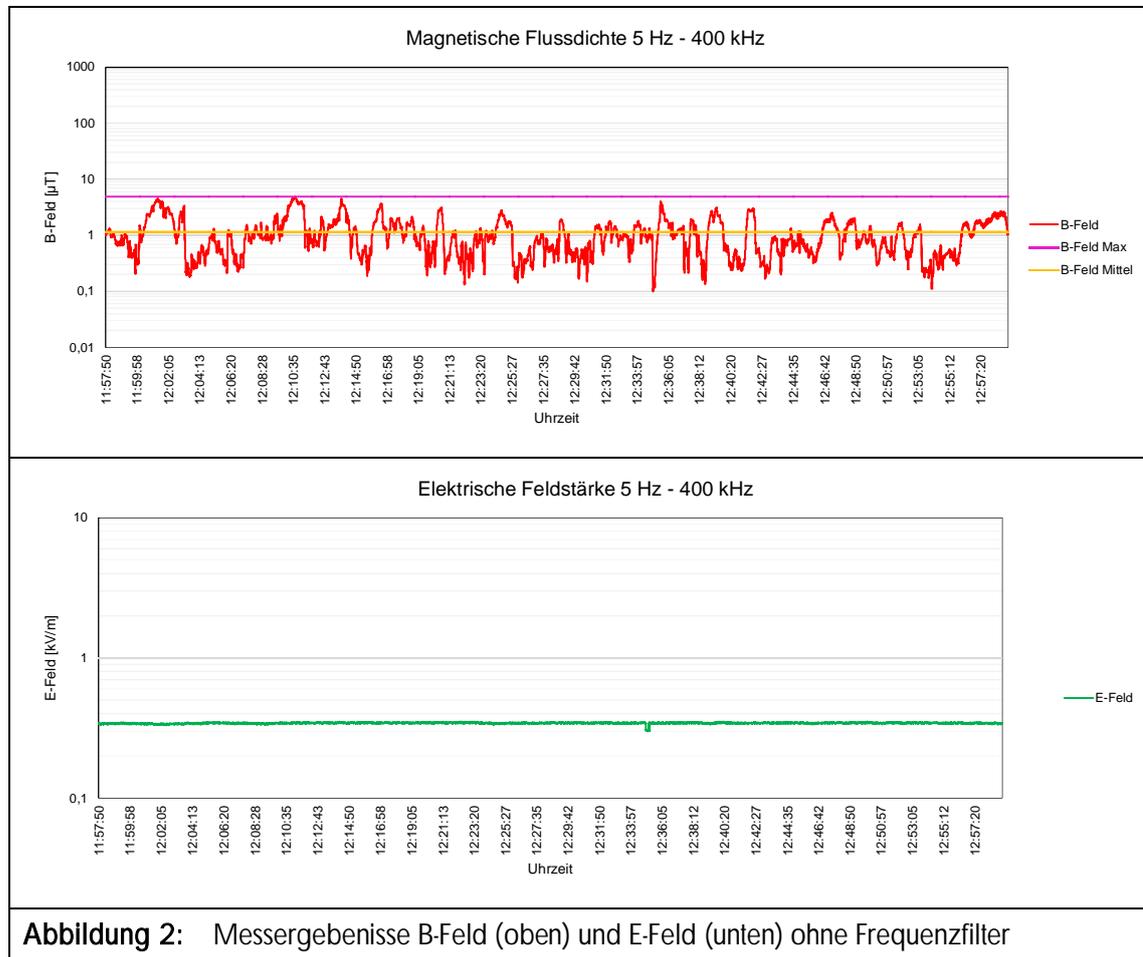


Abbildung 1: Messergebnisse B-Feld (oben) und E-Feld (unten) bei 16,7 Hz

Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Feldstärken aus den Messungen:

- Die gemessenen B-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen bis zu 4,4 µT. Im Mittel liegen die magnetischen Flussdichten bei ca. 1 µT.
- Die gemessenen E-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen zu 0,23 kV/m.

Zur Ermittlung des Gesamteinflusses aller benachbarter Anlagen/ Leitungen wurden die elektromagnetischen Felder frequenzabhängig (ohne Band- oder Hochpass) im Frequenzbereich von 5 Hz bis 400 kHz erfasst. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt.



Es ist ersichtlich, dass die Messung der elektromagnetischen Felder zwischen 5 Hz und 400 kHz kaum bzw. nur geringfügig höhere Werte im Vergleich zu den Feldstärken bei 16,7 Hz ergaben. Die gemessenen B-Felder zwischen 5 Hz – 400 kHz betragen bis zu 4,9 μT . Im Mittel liegen die magnetischen Flussdichten bei ca. 1,1 μT . Die gemessenen E-Felder zwischen 5 Hz – 400 kHz betragen bis zu 0,35 kV/m. Die Bahnstromanlagen bei 16,7 Hz sind demnach die maßgebenden Feldquellen im Umfeld des Bahnhofsgebäudes. Wesentliche Immissionen von anderen bestehenden Anlagen/ Leitungen können im Umfeld des Hbf Ingolstadt ausgeschlossen werden.

Gem. § 3 der 26. BImSchV sind zur Beurteilung der elektromagnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen die Zustände bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung maßgeblich. Im Folgenden werden die elektromagnetischen Felder für das Planvorhaben ausgehend von den Bahnstromanlagen unter Berücksichtigung einer höchsten betrieblichen Auslastung simuliert.

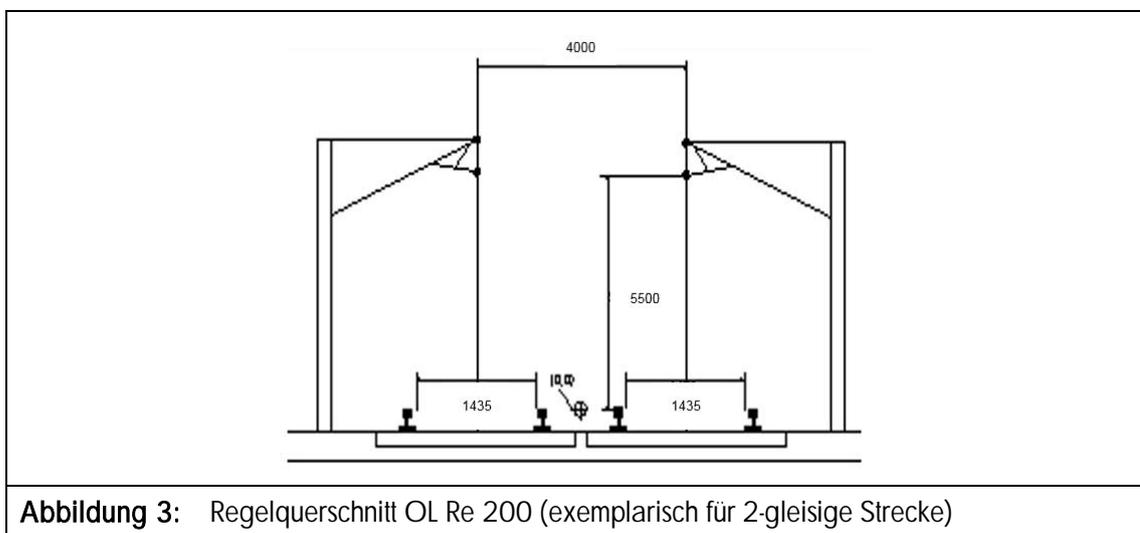
5. Simulation der elektromagnetischen Felder

5.1 Eingabeparameter

Bei den elektrischen und magnetischen Feldern, die von Bahnüberleitungen ausgehen, handelt es sich um niederfrequente Felder mit einer Frequenz von 16,7 Hz. Für die Simulation können daher in sehr guter Näherung quasistatische Annahmen getroffen werden. Die Simulationen werden mit dem-Programm WinField [14] zur Berechnung niederfrequenter magnetischer und elektrischer Felder durchgeführt.

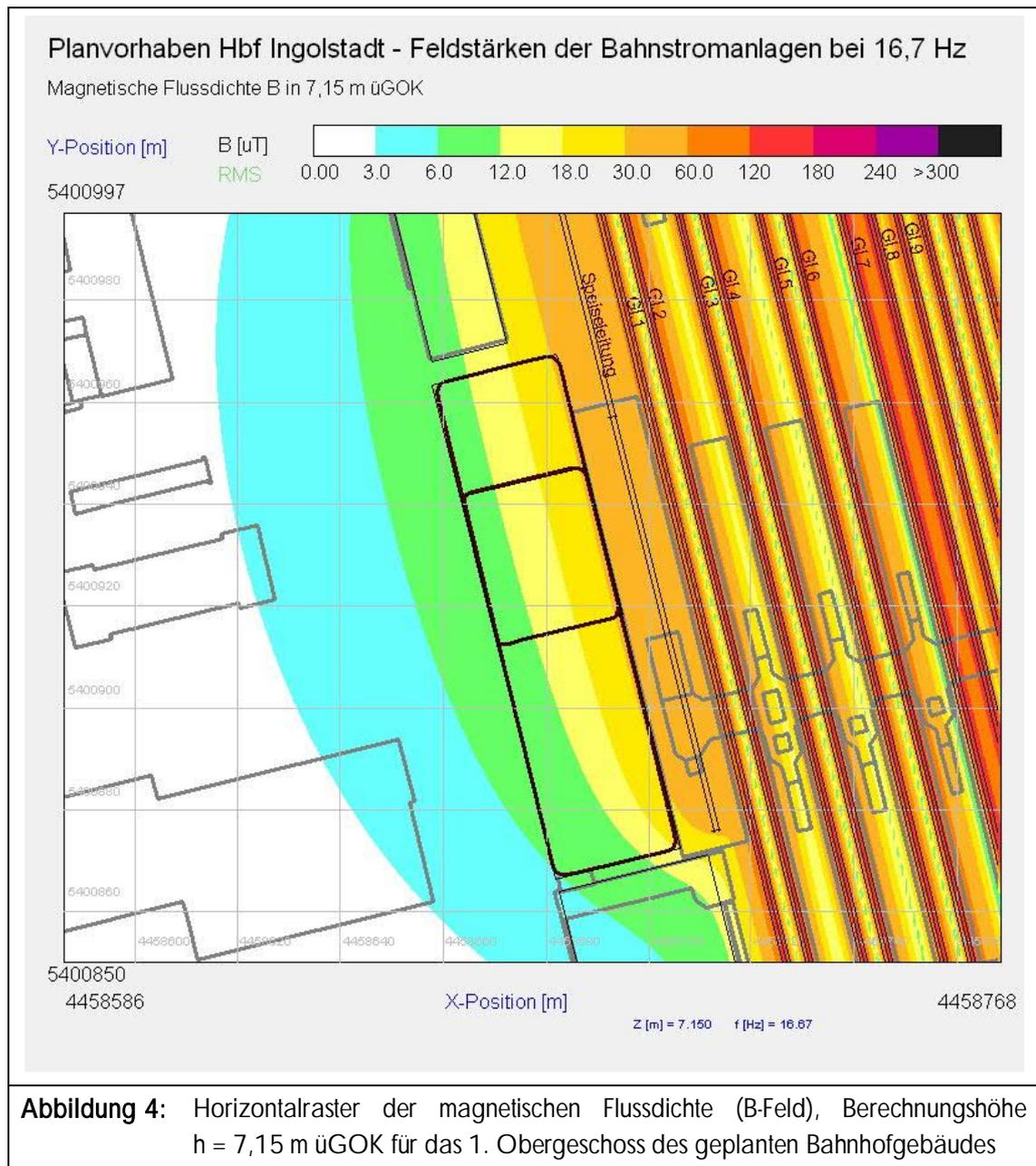
Für die Simulation wurden die Streckenverläufe der am Hbf Ingolstadt bestehenden elektrifizierten Bahnstrecken sowie die Speiseleitungen (SL) in das Berechnungsmodell eingeben (vgl. Lageplan in Anlage 1). Im vorliegenden Fall wurden die Regelquerschnitte OL Re 200 für die benachbarten elektrifizierten Strecken angesetzt (siehe Abbildung 3). Als Basis für die Bilanzierung der Stromverteilung der Oberleitungsanlagen wurde die thermische Maximalspannung (Dauerstrombelastbarkeit nach [9]) verwendet und nach den einschlägigen technischen Grundlagen [10], [11], [12], [13] aufgeteilt. Die Rückstromanteile in Schienen bzw. Rückleitern wirken kompensatorisch auf das Magnetfeld der Oberleitung. Für die eingleisigen Bahnstrecken ohne Rückleiterseil wurden in den Simulationen die Rückstromanteile der Schienen mit 60 % angesetzt. Dies entspricht den Anhaltswerten für freie Strecken gemäß [10] bzw. einem min. Rückstromanteil (ohne Rückleitersysteme). Die Berechnungen liegen sich somit tendenziell auf der sicheren Seite. Die Dauerstrombelastbarkeit der Speiseleitung wurde entsprechend ihrer Querschnittsfläche anhand der Leiter-Kennwerte nach DIN EN 50182 [9] angenommen. In dem Berechnungsmodell wurden die folgenden wesentlichen Parameter angesetzt:

- Dauerstrombelastbarkeit OL Re 200: $I_{OL} = 560 \text{ A}$
- Rückstromanteil der Schienen: 60 %
- Dauerstrombelastbarkeit SL Al 240 mm²: $I_{SL} = 645 \text{ A}$
- Nennspannung der Oberleitungsanlagen: 15 kV



5.2 Simulationsergebnisse

Die elektromagnetischen Felder unter Berücksichtigung der höchsten betrieblichen Auslastung wurden mit der Software WinField [14] nach DIN EN 50413/ VDE 0848-1 [8] berechnet. Die Feldstärken wurden flächenhaft in einer Berechnungshöhe von 7,15 m üGOK in der Netzfrequenz 16,7 Hz für Bahnstromanlagen ermittelt. Die Berechnungshöhe entspricht einer Exposition im 1. OG des Plangebäudes nach [15] (1 m über Deckenoberkante) und in etwa der Höhe des Messortes (vgl. Kap. 4.1). Die flächenhaften Berechnungsergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.



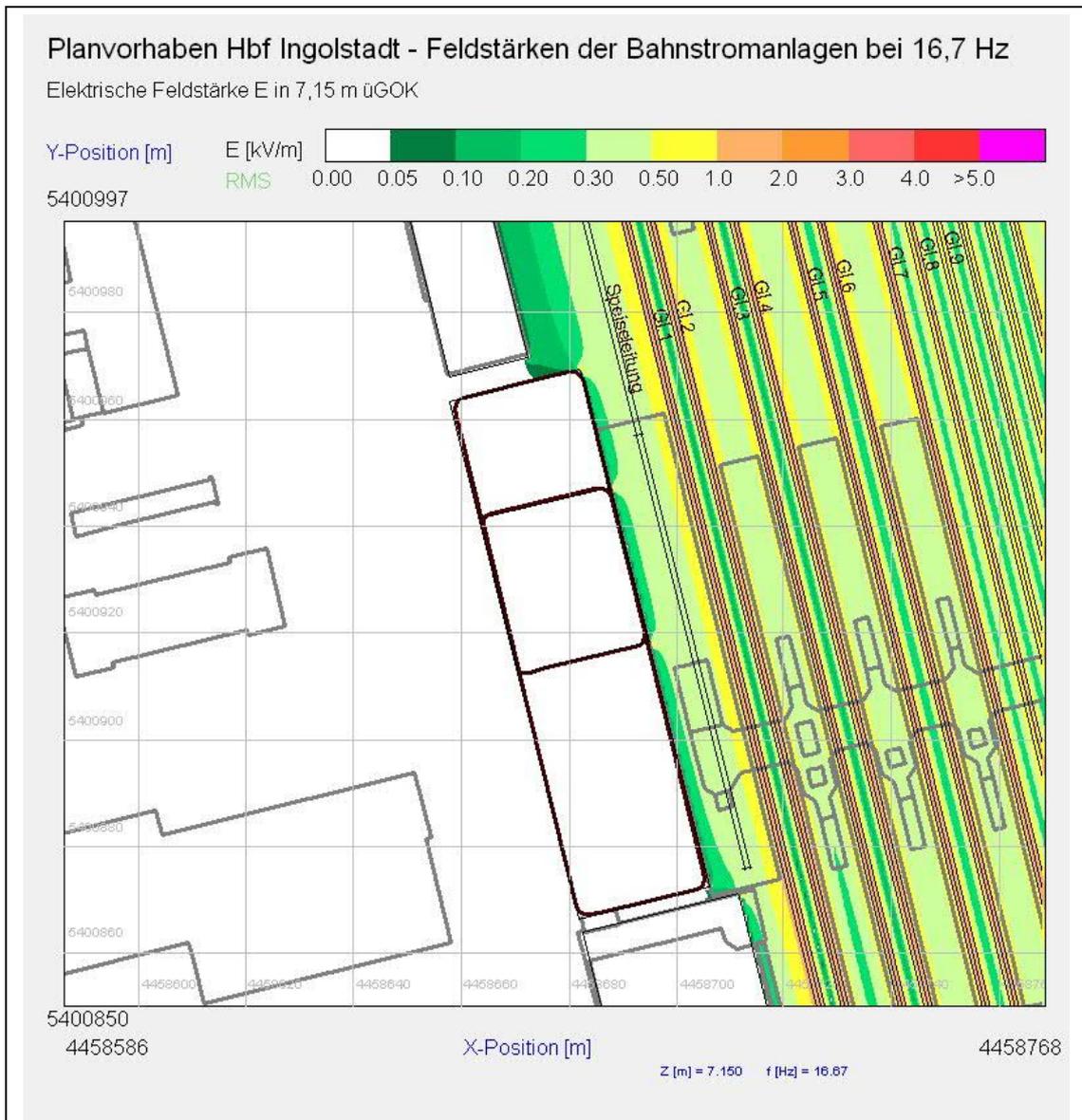


Abbildung 5: Horizontalraster der elektrischen Feldstärke (E-Feld), Berechnungshöhe $h = 7,15$ m üGOK für das 1. Obergeschoss des geplanten Bahnhofgebäudes

Die berechneten E-Felder stimmen aufgrund der stationären Versorgungsspannung von 15 kV in guter Näherung mit den Messergebnissen überein (0,2 bis 0,3 kV/m vor der östlichen Gebäudefassade). Durch die Annahme der höchsten betrieblichen Auslastung wurden in der Simulation deutlich höhere B-Felder im Vergleich zur Messung ermittelt. Im 1. Obergeschoss wurde eine magnetische Flussdichte von bis zu 30 μT berechnet.

Zur Ermittlung der maximalen Feldstärken im Bereich des Plangebäudes wurden die elektromagnetischen Felder in Vertikalrastern für einen Ost-West-Querschnitt des geplanten 17-geschossigen Gebäudeteils berechnet. Die Berechnungsergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

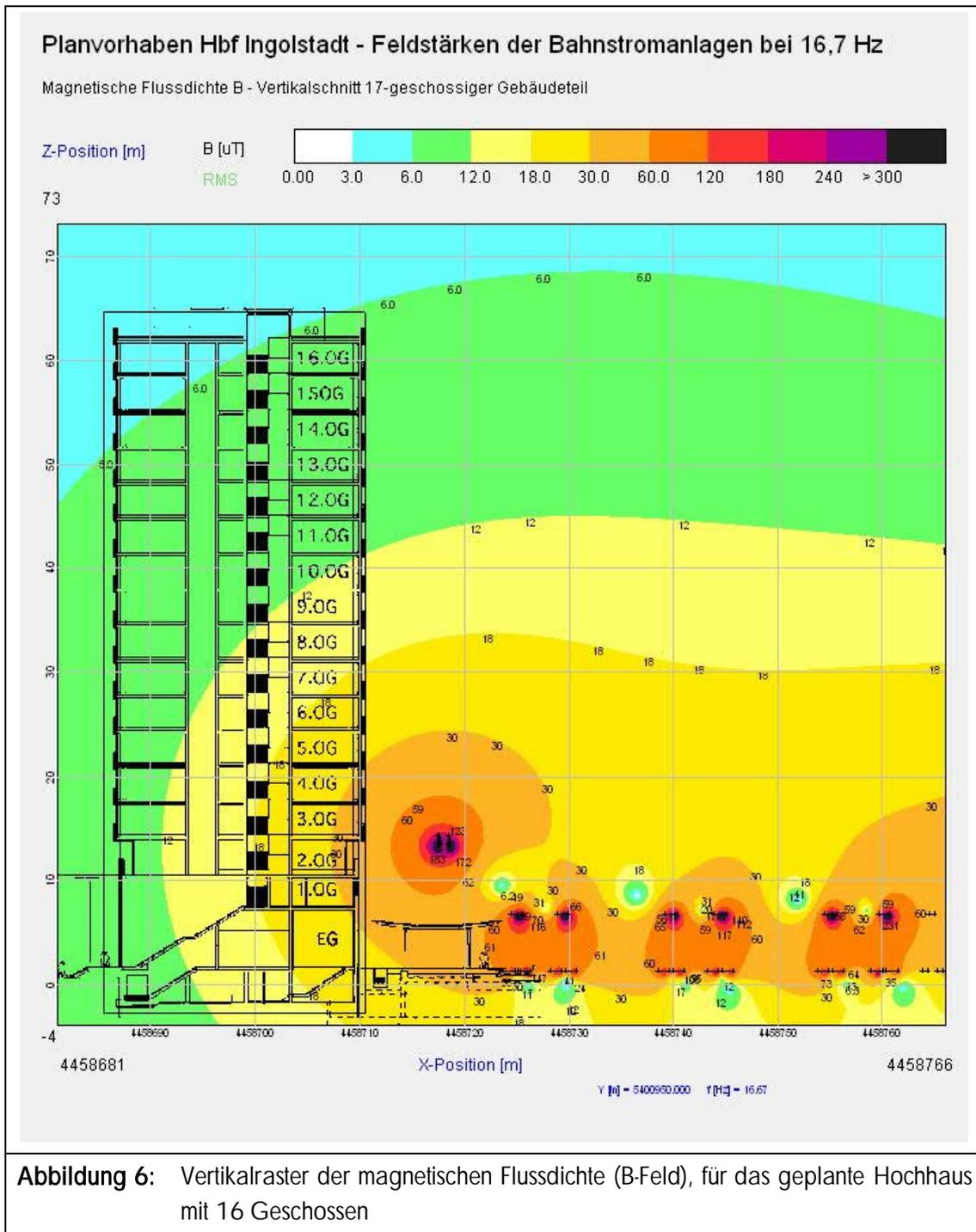
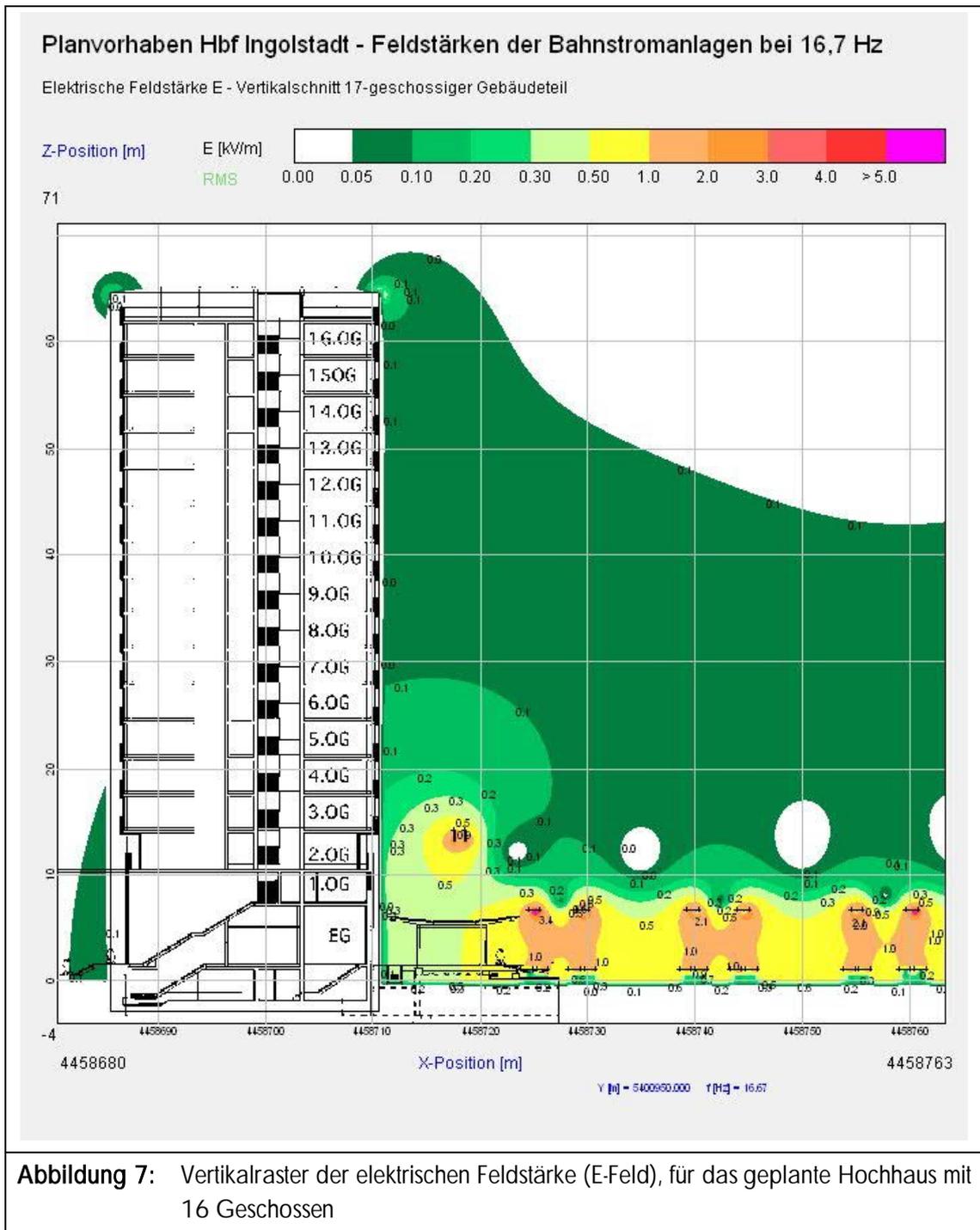


Abbildung 6: Vertikalraster der magnetischen Flussdichte (B-Feld), für das geplante Hochhaus mit 16 Geschossen



Zusammenfassend ergeben sich die folgenden maximalen Feldstärken unter Berücksichtigung der höchsten betrieblichen Auslastung:

- Die berechneten B-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen im Bereich des Plangebäudes bis zu 50 μ T.
- Die berechneten E-Felder der Bahnstromanlagen mit einer Netzfrequenz von 16,7 Hz betragen im Bereich des Plangebäudes bis zu 0,3 kV/m.

6. Beurteilung der elektromagnetischen Felder

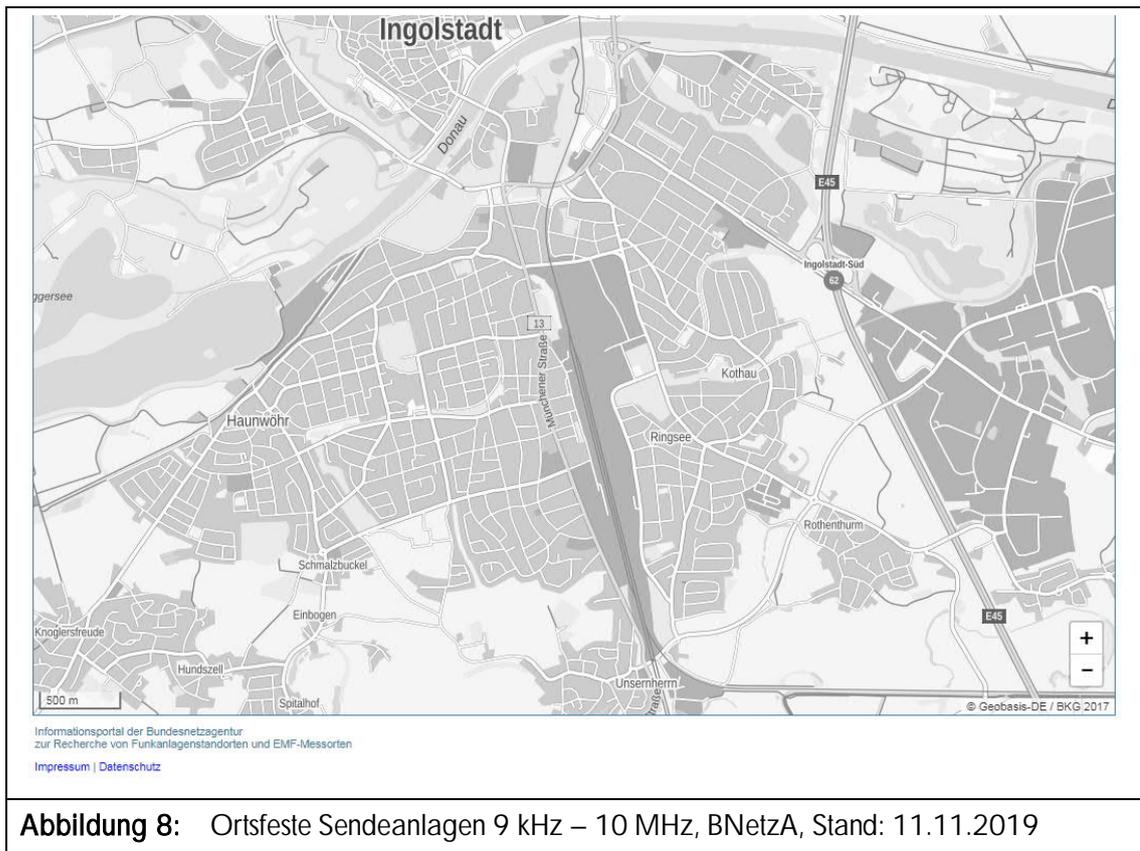
Im Gegensatz zu den Netzen der öffentlichen Stromversorgung (50 Hz) unterliegt die Stärke der niederfrequenten Magnetfelder an Bahnstrecken (16,7 Hz) einer erheblichen zeitlichen und örtlichen Schwankungsbreite. Je nach Versorgungsabschnitten der Oberleitung sowie Parametern der Stromaufnahme (z.B. Art und Betriebszustand der Antriebsmaschine) verhalten sich die hervorgerufenen Magnetfelder instationär und anisotrop. Im Gegensatz dazu ist das elektrische Feld von Bahnstrecken unmittelbar von der Versorgungsspannung abhängig und deshalb weitestgehend stationär. In Messungen von niederfrequenten Magnetfeldern an mehrgleisigen Bahnstrecken hängt die gemessene Feldstärke somit erheblich von der Streckenauslastung zum Messzeitpunkt ab (vgl. Messergebnisse in Kap. 4.3).

Nach § 3 der 26 BImSchV ist zur Beurteilung der elektromagnetischen Felder von Niederfrequenzanlagen die höchste betriebliche Anlagenauslastung maßgeblich. Die Simulation der elektrischen und magnetischen Felder basiert demnach auf Berechnungen, die unter der Annahme einer höchsten betrieblichen Auslastung i. S. der 26 BImSchV vorgenommen werden. Die tatsächlichen Feldstärken im Bereich von Oberleitungsanlagen sind im Regelfall deutlich geringer und wurden im vorliegenden Fall auf der Grundlage von orientierenden Messungen ermittelt.

Im Folgenden werden die in den Messungen und den Berechnungen ermittelten Feldstärken der elektromagnetischen Felder beurteilt.

6.1 Zusatzbelastung durch Hochfrequenzanlagen

Bei der Beurteilung von Niederfrequenzanlagen sind gem. § 3 Abs. 4 der 26 BImSchV auch die Feldstärken von ortsfesten Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz zu berücksichtigen, die einer Standortbescheinigung nach §§ 4 und 5 der Verordnung über das Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen. Diese Anlagen sind aus der EMF-Datenbank der BNetzA ersichtlich. In der EMF-Datenbank werden entsprechende Sendeanlagen als blaue Dreiecke  gekennzeichnet (vgl. Abbildung 8).



Die Abbildung zeigt, dass mit keinen Einwirkungen aus ortsfesten Hochfrequenzanlagen mit Frequenzen zwischen 9 Kilohertz und 10 Megahertz zu rechnen ist, da keine entsprechenden Anlagen in der Nachbarschaft vorhanden sind.

6.2 Einwirkungen auf den Menschen

Die gemessenen und berechneten Feldstärken liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte der 26. BImSchV (vgl. Tabelle 1). Für das Planvorhaben sind demnach keine schädlichen Einwirkungen aus elektromagnetischen Feldern i.S. der 26. BImSchV zu erwarten.

Die höheren Grenzwerte für die Exposition von elektromagnetischen Feldern während der Arbeit (vgl. Tabelle 2) gem. UVV [5] werden ebenfalls zuverlässig eingehalten.

6.3 Einwirkungen auf Geräte und Anlagen

Die 26. BImSchV gilt zum Schutz von Menschen vor elektromagnetischen Feldern. In dem geplanten Bahnhofsgebäude kann es überdies zu einer negativen Beeinflussung von Geräten und Anlagen und deren Nutzung kommen. Allgemeingültige Grenzwerte für elektromagnetische Einwirkung auf Geräte und Anlagen existieren nicht. Anhaltspunkte für die Störfestigkeit technischer Geräte können dem technischen Regelwerk für spezifische elektromagnetisch empfindliche Geräte und Betriebsmittel entnommen werden. Dies sind zum Beispiel Kathodenstrahlröhren, Fernmeldeeinrichtungen, Labor- und

Diagnosegeräte, wissenschaftliche und medizinische Diagnosegeräte usw.; die besonders empfindlichen Geräte können bereits ab Spitzenwerten des Effektivwertes der magnetischen Flussdichte von $0,4 \mu\text{T}$ beeinflusst werden.

An der bahnungsgewandten Gebäudeseite muss regelmäßig mit kurzzeitigen Spitzenfeldstärken von $4,4 \mu\text{T}$ und $0,23 \text{ kV/m}$ gerechnet werden (vgl. Kap. 4.3). Nachfolgende Tabelle zeigt einige typische Anhaltswerte für die Mindeststörfestigkeiten technischer Geräte (beispielhaft).

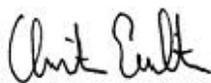
Tabelle 4: Anhaltswerte für die Mindeststörfestigkeiten technischer Geräte	
Technische Geräte/Anlagen	Störschwelle B-Feld, NF
Feldemissions-Raster-Elektronenmikroskop	$0,3 \mu\text{T}$
PC-Kathodenstrahlmonitor (21 Zoll)	$0,4 \mu\text{T}$
PC-Kathodenstrahlmonitor (17 Zoll)	$0,6 \mu\text{T}$
Medizintechnik: EEG, EKG-Geräte	$1,0 \mu\text{T}$
Medizintechnik: Röntgenröhre	$10 \mu\text{T}$
Raster-Elektronenmikroskop	$10 \mu\text{T}$
ältere aktive Implantate (Herzschrittmacher), Defibrillatoren	20 bis $30 \mu\text{T}$
neuere aktive Implantate (mit CE-Konformität)	$100 \mu\text{T}$
Magnetische Speicher, Disketten	$1.000 \mu\text{T}$

Die oben hervorgehobenen Geräte liegen folglich im stör anfälligen Bereich. Die Beeinflussungsfragen sind im Vorfeld grundsätzlich schwierig abschätzbar, da derartige Anlagen und Geräte keiner baulichen oder sonstigen Genehmigung unterliegen. Im vorliegenden Fall erscheint das Risiko jedoch tendenziell gering, da in dem geplanten Bahnhofsgebäude neben den bahntechnischen Nutzungen im Wesentlichen Büro- und Verwaltungsnutzungen angesiedelt werden sollen. Der Betrieb von elektromagnetisch empfindlichen Geräten ist für diese Nutzungsarten untypisch.

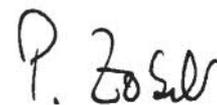
Dieses Gutachten umfasst 24 Seiten und 3 Anlagen. Die auszugsweise Vervielfältigung des Gutachtens ist nur mit Zustimmung der Möhler + Partner Ingenieure AG gestattet.

München, den 6. September 2021

Möhler + Partner
Ingenieure AG



Dipl.-Ing. (FH) Christian Eulitz, M. Eng.



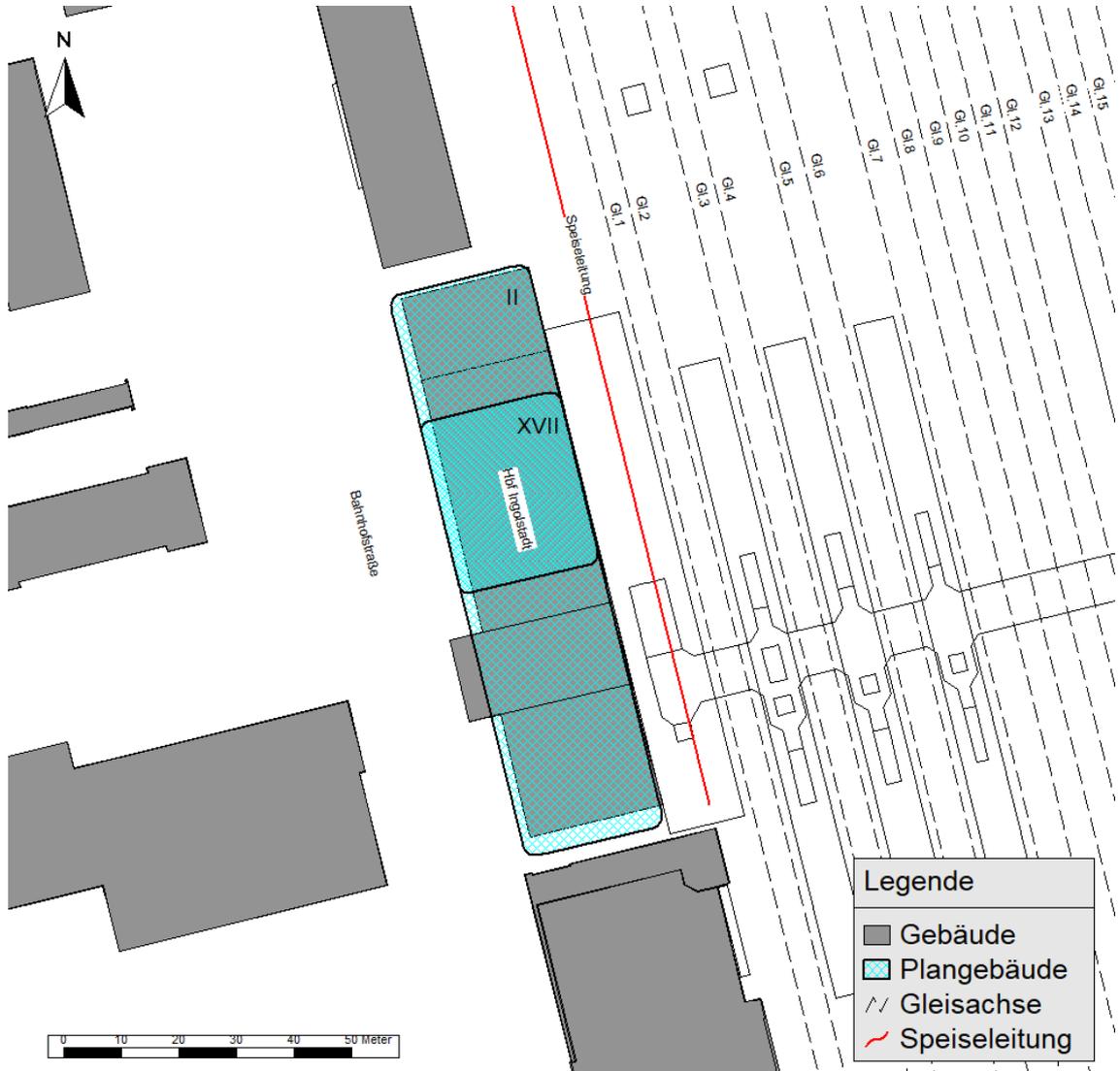
i. V. Paul Zobel, M. Sc.

7. Anlagen

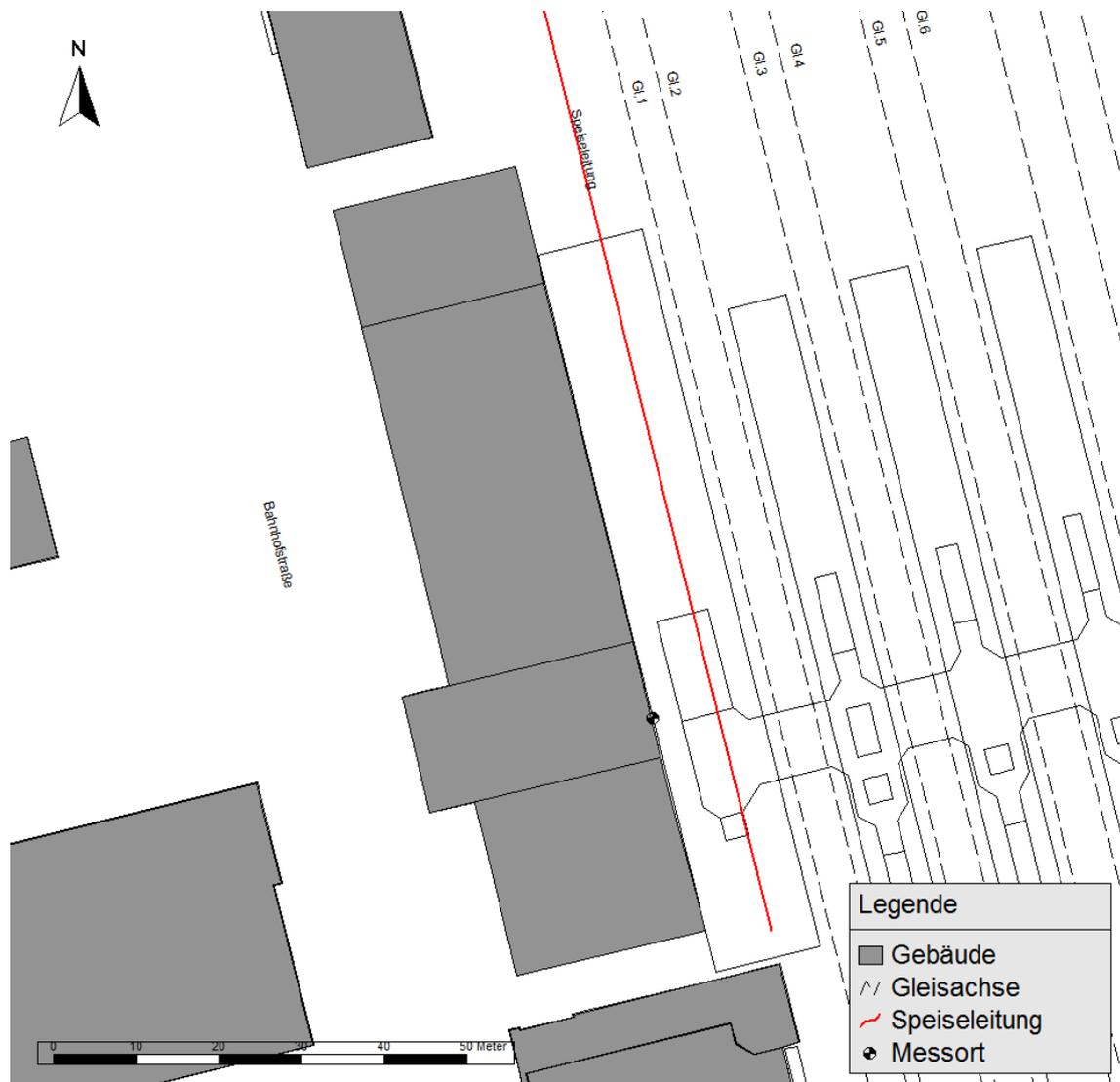
- Anlage 1: Übersichtslagepläne
- Anlage 2: Fotographische Dokumentation der Messung
- Anlage 3: Lageplan Berechnungsmodell

Anlage 1: Übersichtslagepläne

Lageplan mit Planvorhaben



Lageplan mit Messort



Anlage 2: Fotografische Dokumentation der Messung



Foto 1: EMF-Messgerät in Fensterebene



Foto 2: Blick aus dem Fenster in Richtung Norden



Foto 3: Blick aus dem Fenster in Richtung Süden

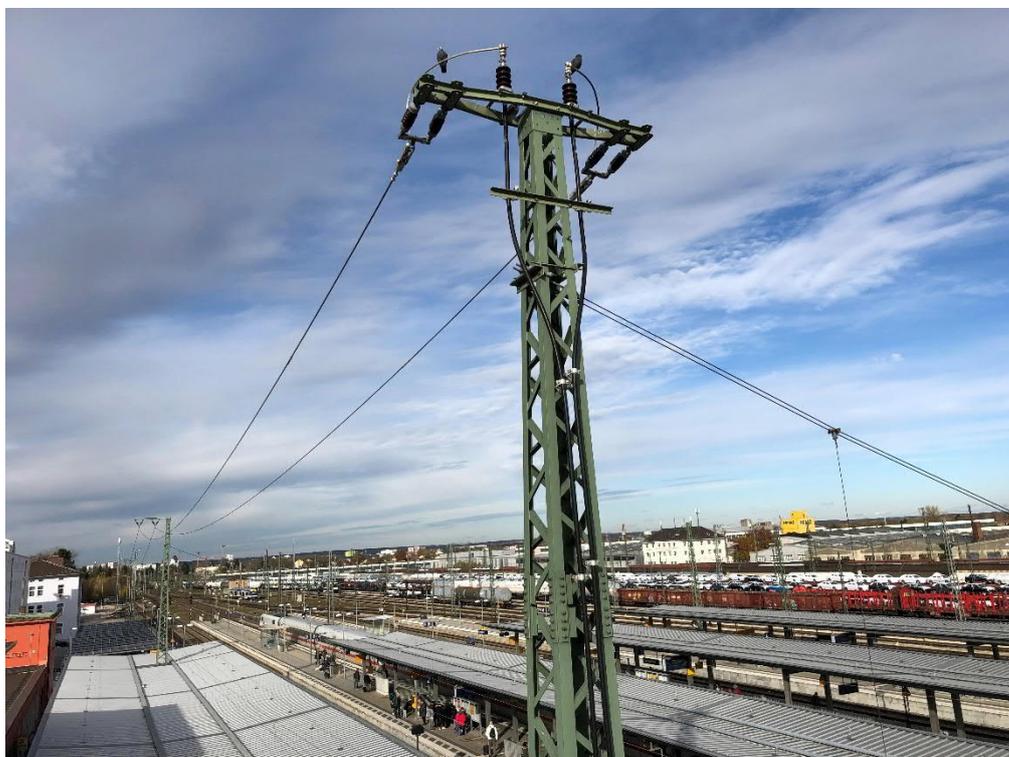


Foto 4: Speiseleitung (Blickrichtung Norden)

Anlage 3: Lageplan Berechnungsmodell

Berechnungsmodell

Planvorhaben Hbf Ingolstadt

Y-Position [m]

5401004



5400826

4458571

X-Position [m]

4458787

Z [m] = 7.150 f [Hz] = 16.67