

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

M. Sc. Felix Martin
Telefon +49(89)85602 311
Felix.Martin@mbbm.com

08. Dezember 2022
M171214/04 Version 1 MART/WDN

Straßenbahnverlängerung Nürnberg Unterwerk Münchner Straße (UW MUE)

Prognoseberechnung und Beurteilung der elektromagnetischen Felder gemäß 26. BImSchV

Bericht Nr. M171214/04

Auftraggeber:	VAG Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg Südliche Fürther Straße 5 90429 Nürnberg
Auftragsnummer:	1000156448.02
Bearbeitet von:	M. Sc. Felix Martin
Berichtsumfang:	13 Seiten

Müller-BBM Industry Solutions GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	3
1	Situation und Aufgabenstellung	5
2	Verwendete Unterlagen	5
3	Rechtliche Grundlagen	7
3.1	26. BImSchV	7
3.2	26. BImSchVVwV	8
4	Berechnung der elektromagnetischen Felder	9
4.1	Grundlagen	9
4.2	Berechnungsunsicherheit	9
4.3	Modellbildung	10
5	Ergebnisse	11
6	Beurteilung gemäß 26. BImSchVVwV	13

Zusammenfassung

Die Stadt Nürnberg und die Verkehrs-Aktiengesellschaft Nürnberg (VAG) planen den Bau zweier neuer Straßenbahntrassen im südlichen Nürnberger Stadtgebiet. Im Zuge des Neubaus sollen vier neue Gleichrichterunterwerke errichtet werden, drei für die Trasse Brunecker Straße und eines für den Lückenschluss Minervastraße. Die Unterwerke sollen baugleich als Betonfertigstationen nach dem Typ „VAG-UW-Strab 2022“ errichtet werden.

Es sollte der Nachweis erbracht werden, dass die zulässigen Grenzwerte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) eingehalten werden. Dazu sollten die von der Anlage ausgehenden elektromagnetischen Felder mithilfe eines Feldberechnungsprogramms berechnet und gemäß den zulässigen Grenzwerten der 26. BImSchV für Anlagen dieser Art beurteilt werden. Außerdem sollte eine Minimierung der Magnetfelder gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV) erfolgen.

In diesem Gutachten wird das Unterwerk Münchner Straße (UW MUE) betrachtet.

Ergebnis

Die Grenzwerte für die hier relevanten 50-Hz-Felder betragen für die elektrische Feldstärke 5 kV/m und für die magnetische Flussdichte 100 μ T. Diese müssen an allen Orten eingehalten werden, die gemäß 26. BImSchV zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen vorgesehen sind.

Eine Berechnung und Beurteilung der elektrischen Felder war hier nicht erforderlich, da alle elektrischen Anlagenteile vollständig durch die Gebäudehülle abgeschirmt werden.

Der maximale Effektivwert der magnetischen Flussdichte wurde an der Gebäudeaußenwand, im Bereich der Ringkabelfelder der Mittelspannungsanlage, zu 241 μ T ermittelt. Eine weitere Grenzwertüberschreitung tritt an der Gebäudeaußenwand im Bereich des Gleichrichters auf. Hier wurde ein Maximalwert von 176 μ T erreicht. Der Grenzwert von 100 μ T wird im Falle der Mittelspannungsanlage ab einer Entfernung von 10 cm und beim Gleichrichter ab 20 cm zur Gebäudeaußenwand unterschritten.

Die Grenzwertüberschreitungen sind hier nicht relevant, da sich im Bereich des Unterwerks kein Ort befindet, welcher zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt ist.

Minimierungsmaßnahmen gemäß 26. BImSchVVwV:

Der nächstgelegene Ort, der gemäß 26. BImSchV zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen vorgesehen ist, befindet sich außerhalb des Einwirkungsbereichs in mehr als 10 m Entfernung zum Gleichrichterwerk. Eine Minimierung ist deshalb nicht erforderlich.

Einwirkung von Hochfrequenzsendeanlagen:

Innerhalb eines Abstands von 300 m um die vier Gleichrichterwerke befinden sich keine Hochfrequenzsendeanlagen, welche als Vorbelastung gemäß den Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV), Länderausschuss für Immissionsschutz LAI (LAI-Hinweise), zu berücksichtigen wären.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnet verantwortlich:



M. Sc. Felix Martin
– Projektverantwortlicher –

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14119-01-01
D-PL-14119-01-02
D-PL-14119-01-03
D-PL-14119-01-04

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt nur für den in der
Urkundenanlage aufgeführten Akkreditierungsumfang.

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Nürnberg und die VAG planen den Bau zweier neuer Straßenbahntrassen im südlichen Nürnberger Stadtgebiet. Im Zuge des Neubaus sollen vier neue Gleichrichterunterwerke errichtet werden, drei für die Trasse Brunecker Straße und eines für den Lückenschluss Minervastraße. Die Unterwerke sollen baugleich als Betonfertigungsstationen nach dem Typ „VAG-UW-Strab 2022“ errichtet werden.

Es soll der Nachweis erbracht werden, dass die zulässigen Grenzwerte der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) eingehalten werden. Dazu sollen die von der Anlage ausgehenden elektromagnetischen Felder mithilfe eines Feldberechnungsprogramms berechnet und gemäß den zulässigen Grenzwerten der 26. BImSchV für Anlagen dieser Art beurteilt werden. Außerdem soll eine Minimierung der Magnetfelder gemäß 26. BImSchVVwV erfolgen.

In diesem Gutachten wird das Unterwerk Münchner Straße (UW MUE) betrachtet.

2 Verwendete Unterlagen

- [1] 26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über elektromagnetische Felder vom 14. August 2013
- [2] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz LAI, September 2014
- [3] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 26. Februar 2016
- [4] Elektromagnetische Felder – Hochfrequenzanlagen, Info-Blatt zur Umsetzung der Anforderung nach § 3 Nr. 3, 26. BImSchV Niederfrequenzanlagen, Bundesnetzagentur, Referat 414, 55122 Mainz, April 2014
- [5] DIN EN 50413; VDE 0848-1: Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz), August 2009
- [6] Hersteller-Zertifikat (Genauigkeit der Feld-, Leistungsflussdichte- und Schallpegelberechnung), WinField/EFC-400 – Electrical and Magnetic Field Calculation Version >= V2023, 01.01.2023
- [7] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Lageplan Unterwerk Wodanstraße (WOD)
Stand: 23.06.2022, VAG Nürnberg
- [8] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Lagepläne Unterwerk Ingolstädter Straße (ING) und Unterwerk Münchner Straße (MUE)
Stand: 19.08.2022, VAG Nürnberg

- [9] Planungsunterlage: Lageplan
Titel: Lageplan Unterwerk Finkenbrunn (FIN)
Stand: 15.10.2021, VAG Nürnberg
- [10] Planungsunterlage: Schaltplan
Titel: Schaltplan Bahnstrom
Stand: 26.10.2020, VAG Nürnberg
- [11] Planungsunterlage: Datenblatt Gleichrichter
Titel: Details Gleichspannungsanlage
Stand: 03.02.2017, Siemens
- [12] Planungsunterlage: Maßbild
Titel: Maßbild Transformator
Stand: 01.04.2016, RPT Ruhstrat Power Technology
- [13] Planungsunterlage: Datenblatt
Titel: Datenblatt Transformator
Stand: 06.12.2021, RPT Ruhstrat Power Technology
- [14] Planungsunterlage: Aufstellungsplan
Titel: Grundriss VAG-UW Strab 2022
Maßstab: 25:1
Stand: 26.10.2022, VAG Nürnberg
- [15] Planungsunterlage: Grundriss, Schnitt, Ansichten
Titel: UW Gebäudeansichten
Maßstab: 1:100
Stand: 06.10.2020, VAG Nürnberg

3 Rechtliche Grundlagen

3.1 26. BImSchV

Die 26. BImSchV enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder. Gemäß dieser Verordnung genügt es, die Immission an den „maßgebenden Immissionsorten“ zu betrachten. Maßgebende Immissionsorte sind schutzbedürftige Gebäude oder Grundstücke. Es sind dies *„Gebäude oder Grundstücke, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind“*. Dieses „Bestimmtsein“ ist dabei insbesondere aus der bauplanungsrechtlichen Einordnung des Grundstückes abzuleiten. Es kommt also nicht darauf an, ob sich dort tatsächlich Personen „nicht nur vorübergehend“ aufhalten. Landwirtschaftliche Flächen, Straßen und Gehwege sind keine maßgebenden Immissionsorte.

Für die Beurteilung sind die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln. Diese „höchste betriebliche Auslastung“ ist laut 26. BImSchV nicht durch die tatsächlich zu erwartende maximale Auslastung, sondern durch eine technische Grenze definiert, bei Umspannanlagen beispielsweise durch die Nennleistung der Transformatoren, bei Freileitungen durch den thermisch maximal zulässigen Dauerstrom. Die für die Berechnung verwendeten Maximalströme und Maximalspannungen sind im Abschnitt Berechnungsgrundlagen angegeben.

Das Gleichrichterwerk besteht aus Anlagenteilen, die mit 50-Hz-Wechselspannung betrieben werden und Anlagenteilen, die mit Gleichstrom betrieben werden. Die Anlagen, die mit Wechselstrom betrieben werden, sind im Sinne der 26. BImSchV Niederfrequenzanlagen (ortsfeste Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1000 Volt oder mehr) und entsprechend der 26. BImSchV zu beurteilen. Die Anlagen, die mit Gleichstrom betrieben werden, sind jedoch keine Gleichstromanlagen im Sinne der Verordnung, da als solche nur Anlagen mit einer Gleichspannung von 2000 V oder mehr zu verstehen sind. Da die Gleichspannungsanlagen aber mit einer Spannung von nur 750 Volt betrieben werden, fallen diese Anlagen nicht in den Anwendungsbereich der Verordnung und werden im Weiteren nicht betrachtet.

Zu betrachten ist jedoch die Vorbelastung durch andere Nieder- und Hochfrequenzanlagen. Bei den Hochfrequenzanlagen genügt es dabei, ortsfeste Anlagen mit einer Sendeleistung von mehr als 10 Watt EIRP und Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich gegebenenfalls um Rundfunksender im Kurz-, Mittel- und Langwellenbereich. Gemäß [4] genügt es, Anlagen zu betrachten, die sich näher als 300 m an der Niederfrequenzanlage befinden.

3.2 26. BlmSchVVwV

Die allgemeine Verwaltungsvorschrift [3] konkretisiert den § 4 Absatz 2 der 26. BlmSchV [1]. Sie beschreibt die Anforderungen an Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen bei der Errichtung und wesentlichen Änderung, um die von der jeweiligen Anlage ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich zu minimieren.

Die Umsetzung des Minimierungsgebots erfolgt in drei Teilschritten – einer Vorprüfung, ob überhaupt eine Minimierung erforderlich ist, anschließend, sofern eine solche erforderlich ist, einer Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und einer Maßnahmenbewertung.

Vorprüfung

Ein maßgeblicher Minimierungsort ist gemäß Nummer 2.11 der 26. BlmSchVVwV [3] ein im Einwirkungsbereich der Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Absatz 1 der 26. BlmSchV sowie jedes Gebäude oder jeder Gebäudeteil, das/der zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt ist. Der Einwirkungsbereich einer Ortsnetzumspannstation beträgt 10 m (vgl. Nummer 3.2.1.2 der 26. BlmSchVVwV [3]).

Ermittlung der Minimierungsmaßnahmen und Maßnahmenbewertung

Die Prüfung der Minimierung ist von der Lage der maßgeblichen Minimierungsorte abhängig. Liegt ein Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstandes, so ist die Minimierung individuell auf diesen Minimierungsort durchzuführen. Der Bewertungsabstand einer Ortsnetzumspannstation beträgt dabei 1 m, der Einwirkungsbereich 10 m. Liegt der Minimierungsort zwischen Bewertungsabstand und Einwirkungsbereich, also zwischen 1 m und 10 m Abstand von der Gebäudeaußenwand, so ist ein repräsentativer Bezugsort im Bewertungsabstand, also in 1 m Abstand, zu wählen und auf diesen hin die Immission zu minimieren (vgl. Nummer 2.4 der 26. BlmSchVVwV [3]).

Bei Ortsnetzumspannstationen sind grundsätzlich drei Minimierungsmaßnahmen zu prüfen: Abstandsoptimierung (größtmögliche Distanz von feldverursachenden Anlagenteilen zum maßgeblichen Minimierungsort), Minimieren der Distanz zwischen Betriebsmitteln mit unterschiedlicher Phasenbelegung, Optimierung von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung.

4 Berechnung der elektromagnetischen Felder

4.1 Grundlagen

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm WinField EP, Version 2023 auf Grundlage der DIN EN 50413 [5]. Modelliert werden die (Wechselspannungs-)Anlagenteile, die wesentlich zur Immission magnetischer Felder beitragen. Es sind dies alle Anlagenteile, die große Ströme führen. Die Immission elektrischer Felder muss hier nicht berücksichtigt werden, da diese durch die Gebäudehülle abgeschirmt werden.

Zur Berechnung der Immission werden die Nennströme der Anlagenteile verwendet bzw. die Ströme, die durch eine technisch bedingte Grenze auf Dauer nicht überschritten werden können. Sonderereignisse, wie Kurzschlüsse in bestimmten Anlagenteilen, werden nicht betrachtet. Bei allen betrachteten Anlagenteilen handelt es sich um Dreiphasensysteme.

4.2 Berechnungsunsicherheit

Die Unsicherheit der Feldberechnung beträgt gemäß [6] 1,4 % und wird im Weiteren bei der Angabe der für die Beurteilung relevanten Werte additiv berücksichtigt.

Unsicherheiten bei der Modellierung bleiben im Weiteren unberücksichtigt.

4.3 Modellbildung

Die elektrotechnischen Anlagen des Gleichrichterwerks wurden gemäß den Planungsunterlagen [7] bis [15] modelliert.

Die Mittelspannungskabel verlaufen außerhalb des Gebäudes in einer Tiefe von 80 cm unter Geländeoberkante (GOK). Innerhalb der Anlage verlaufen die Kabel im 80 cm tiefen Doppelboden und sind im Dreieck verlegt.

1. Eine gasisolierte Mittelspannungsschaltanlage, Typ: 8DJH10
 Höhe der Sammelschienen: 1,3 m, Ein- bzw. Abgänge von unten
 Modellspannung: 20 kV,
 Modellstrom Sammelschiene: **630 A** (Ringkabelfelder)
 bzw. **36,4 A** (Trafoabgangsfeld und Messfeld)

 zwei Ringkabelfelder:
 Modellstrom: je **630 A**
 Kabeltyp: N2XS(F)2Y 3 x 1 x 400/35 mm² (je Ringkabelfeld)

 ein Trafofeld
 Modellstrom: 36,4 A

 ein Messfeld
 Modellstrom: 36,4 A
 Kabeltyp: N2XSH 3 x 1 x 95/16 mm²
2. Ein Dreiphasen-Gießharztrockentransformator (Doppelstockausführung)
 Nennleistung: 1260 kVA
 Kabelanbindung mittelspannungsseitig von oben,
 unterspannungsseitig von oben und unten
 Modellspannung: 20 kV, Modellstrom: **36,4 A**
 Modellspannung: 650 V, Modellstrom: **1120 A (jeweils 560 A oben und unten)**
 U_k Transformator: 6 %
3. Ein B12-Gleichrichter
 nur die AC-Seite wurde modelliert,
 die Kabelanbindung erfolgt von der Wandseite des Gleichrichterschrankes aus
 dem Doppelboden
 Modellspannung: 650 V

 Der Transformatorstrom von 1120 A pro B12-Gleichrichter teilt sich auf zwei
 B6-Gleichrichter mit je 560 A auf und dieser dann pro Phase auf zwei Kabel-
 verbindungen mit je 280 A von den Transformatoren zu den Gleichrichtern.

 je Phase: 4 Kabel mit einem Strom von jeweils **280 A**
 Kabeltyp: N2XH-O 1 x 240 mm²

Anmerkungen:

Die Berechnungsauflösung für die grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse beträgt 0,05 m x 0,05 m. Für die Bestimmung der Maximalwerte wurde eine Auflösung von 0,001 m verwendet.

In der nachfolgenden Abbildung sind die oben beschriebenen elektrischen Betriebsmittel des Gleichrichterwerks abgebildet.

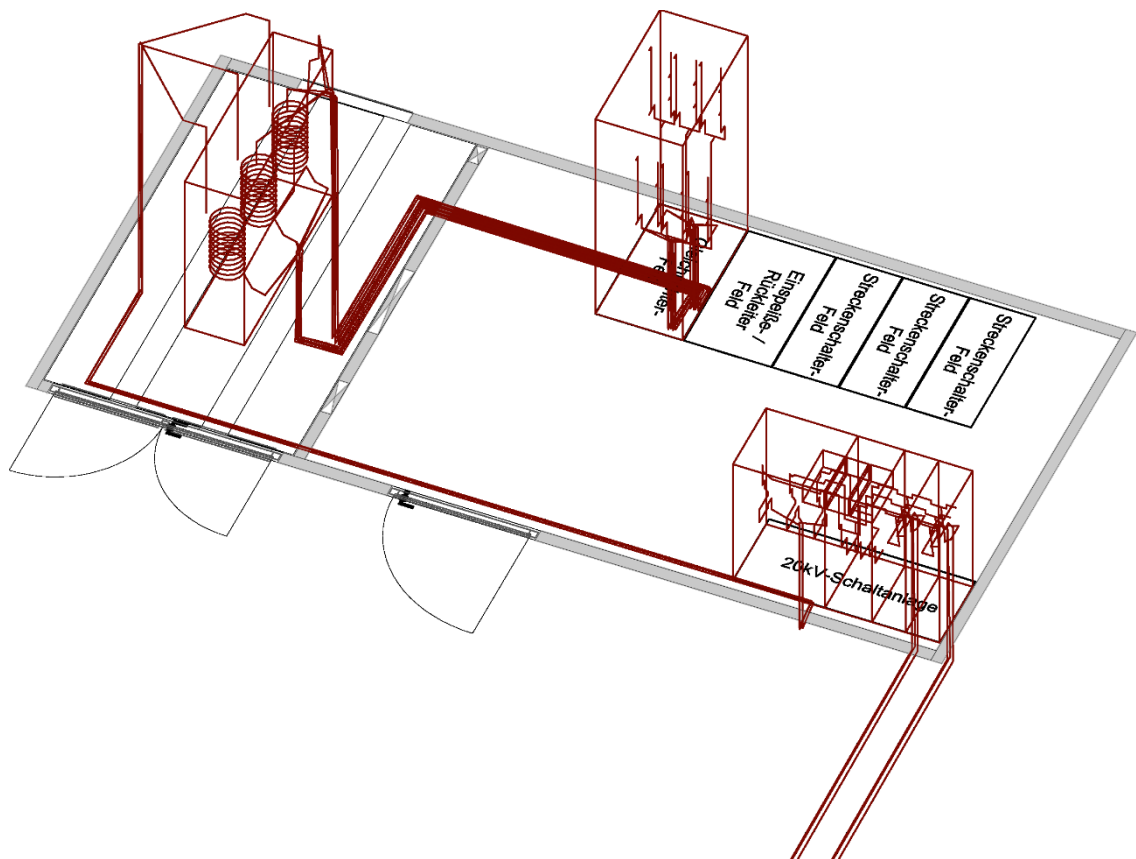


Abbildung 1. Isometrische Darstellung der modellierten elektrischen Betriebsmittel des Gleichrichterunterwerks.

5 Ergebnisse

Das Berechnungsergebnis für die magnetische Flussdichte ist in der nachfolgenden Abbildung grafisch über dem Lageplan dargestellt.

Anmerkung:

Der bei dem Gleichrichter gefundene Maximalwert befindet sich in 59 cm Höhe, der dargestellte Horizontalschnitt stets in 1,1 m über GOK auf Höhe des globalen Maximums bei der Mittelspannungsanlage (vgl. Tabelle 1).

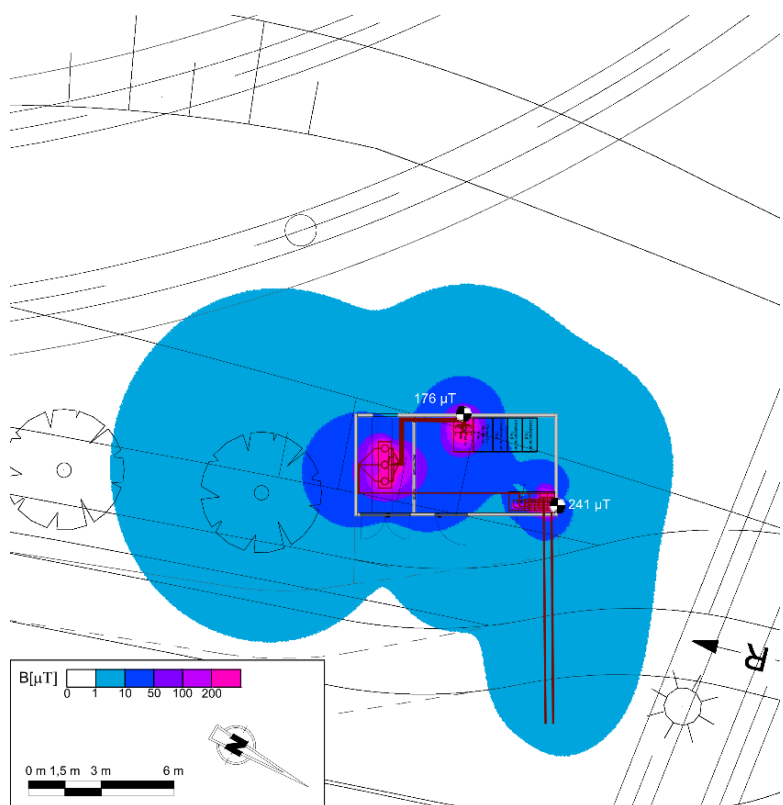


Abbildung 2. Horizontalschnitt der magnetischen Flussdichte über dem Lageplan des Unterwerks Münchner Straße (UW MUE).

In der nachfolgenden Tabelle sind die Maximalwerte der magnetischen Flussdichte an der Gebäudeaußenwand angegeben. Darüber hinaus wurde der minimale Abstand zur Gebäudeaußenwand an der Stelle der Maxima angegeben, ab dem der Grenzwert von 100 μT unterschritten wird.

Tabelle 1. Maximalwerte der magnetischen Flussdichte an der Gebäudeaußenwand und erforderlicher Abstand zur Einhaltung des Grenzwerts von 100 μT .

Position der Grenzwertüberschreitung	Maximalwert der magnetischen Flussdichte	Erforderlicher Abstand zur Einhaltung des Grenzwerts von 100 μT
In 59 cm Höhe beim Gleichrichter	176 μT	20 cm
In 1,1 m Höhe auf der Seite der Ringkabelfelder der Mittelspannungsanlage	241 μT	10 cm

Anmerkung:

Die Grenzwertüberschreitungen sind hier nicht relevant, da sich im Bereich des Unterwerks kein Ort befindet, welcher zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen bestimmt ist.

6 Beurteilung gemäß 26. BImSchVVwV

Vorprüfung

In den nachfolgenden Abbildungen sind jeweils der Einwirkungsbereich und der Bewertungsabstand der Unterwerke dargestellt.

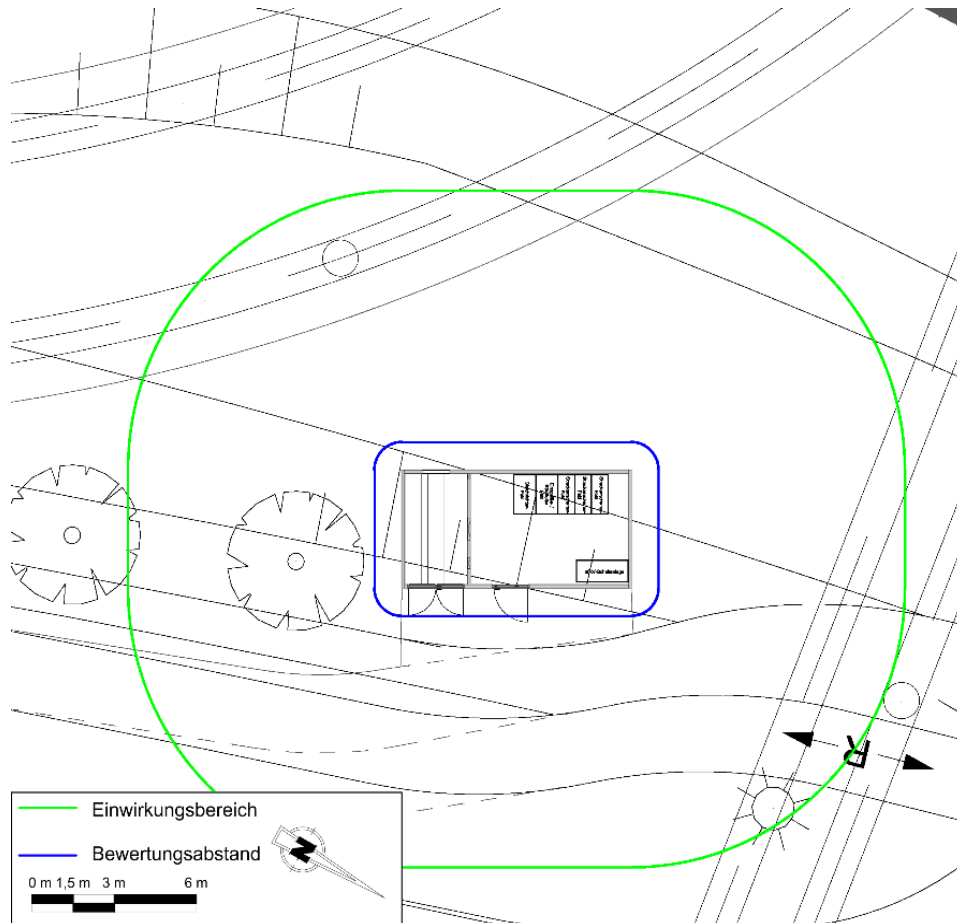


Abbildung 3. UW MUE: Einwirkungsbereich und Bewertungsabstand.

Der nächstgelegene Ort, der gemäß 26. BImSchV zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Personen vorgesehen ist, befindet sich in mehr als 10 m Entfernung zum Gleichrichterwerk. Eine Minimierung ist deshalb nicht erforderlich.