

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

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

www.MuellerBBM.de

Dr.-Ing. Gisbert Gralla  
Telefon +49(89)85602 248  
Gisbert.Gralla@mbbm.com

29. Juni 2021  
M157090/03 Version 1 GRL/WDN

## **Neubaustrecke „Tram Münchner Norden, Planfeststellungsabschnitt 1“**

### **Tramgleichrichterwerke**

#### **Berechnung der elektromagnetischen Felder und Beurteilung gemäß 26. BImSchV**

**Bericht Nr. M157090/03**

Auftraggeber:	SWM Stadtwerke München GmbH Emmy-Noether-Straße 2 80992 München
Bearbeitet von:	Dr.-Ing. Gisbert Gralla M. Sc. Felix Martin
Berichtsumfang:	22 Seiten insgesamt, davon 19 Seiten Text und 3 Seiten Anhang

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

Geschäftsführer:  
Joachim Bittner, Walter Grotz,  
Dr. Carl-Christian Hantschk,  
Dr. Alexander Ropertz,  
Stefan Schierer, Elmar Schröder

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Situation und Aufgabenstellung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Unterlagen</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	<b>9</b>
3.1	26. BImSchV	9
3.2	26. BImSchVVwV	10
<b>4</b>	<b>Berechnung der elektromagnetischen Felder</b>	<b>11</b>
4.1	Grundlagen	11
4.2	Berechnungsunsicherheit	11
4.3	Modellbildung	11
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Beurteilung gemäß 26. BImSchVVwV</b>	<b>17</b>
6.1	Vorprüfung	17
6.2	Minimierungsmaßnahmen	19

**Anhang:** Worst-Case-Abschätzung  
zur Berücksichtigung von Sendeanlagen in einem  
Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 10 MHz

## Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH beabsichtigt eine Erschließung des Münchner Nordens durch Verlängerung der 2009 eröffneten Tramlinie 23. Bei diesem Projekt „Tram Münchner Norden“ wird die Tram bis in das Gebiet der ehemaligen Bayernkaserne und von dort weiter bis zum U-Bahnhof Kieferngarten verlängert. Im Zuge des Neubaus werden neue Gleisanlagen, Fahrdrableitungen und zwei neue Gleichrichterwerke entstehen. Die von den Gleisanlagen und Fahrdrableitungen ausgehenden elektromagnetischen Felder sind Gegenstand einer separaten Untersuchung (Müller-BBM-Bericht M157090/02, Titel: „Neubaustrecke Tram Münchner Norden Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit“, vom 27.05.2021).

Dieses Gutachten befasst sich mit der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit der beiden Gleichrichterwerke, wovon eines in Freimann und das andere am Werner-Egk-Bogen errichtet wird.

Dazu sollten die von den beiden geplanten Gleichrichterwerken (TGWs) zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder prognostiziert und nach den zulässigen Werten des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) beurteilt werden.

Weiterhin sollte geprüft werden, ob die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift 26. BImSchVVwV eingehalten sind.

## Ergebnis

Die Grenzwerte für 50-Hz-Felder betragen für die elektrische Feldstärke 5 kV/m und für die magnetische Flussdichte 100  $\mu$ 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 Gleichrichter, zu 200  $\mu$ T (TGW Freimann), bzw. 204  $\mu$ T (TGW Werner-Egk-Bogen) ermittelt. Der Grenzwert von 100  $\mu$ T wird bei beiden Gleichrichterwerken ab einer Entfernung von 0,42 m zur Gebäudeaußenwand unterschritten.

(Hinweis: Im Bereich des TGW Werner-Egk-Bogen beträgt der maximale Effektivwert an der Grundstücksgrenze des Schulcampus Nord 2,0  $\mu$ T.)

### *Minimierungsmaßnahmen gemäß 26. BImSchVVwV:*

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

In einem 10-m-Umkreis um das **TGW Werner-Egk-Bogen** befindet sich der Schulcampus Nord, welcher zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen vorgesehen ist; deshalb ist eine Minimierung elektromagnetischer Felder gemäß 26. BImSchVVwV durchzuführen.

Die möglichen Minimierungsmaßnahmen sind bereits vollständig umgesetzt. Die Niederspannungsseite der Transformatoren befindet sich jeweils in der Gebäudemitte und die Leitungen sind EMV-optimiert verlegt. Außerdem befinden sich die beiden Gleichrichter auf der dem maßgeblichen Minimierungsort abgewandten Seite des Gebäudes.

#### *Einwirkung von Hochfrequenzsendeanlagen:*

Innerhalb eines Abstands von 300 m um das **Gleichrichterwerk Werner-Egk-Bogen** befindet sich keine ortsfeste Hochfrequenzanlage mit Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz, welche als Vorbelastung gemäß den Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV), Länderausschuss für Immissionsschutz LAI (LAI-Hinweise), zu berücksichtigen wäre.

Innerhalb eines Abstands von 300 m um das **Gleichrichterwerk Freimann** befinden sich laut Angaben der Bundesnetzagentur zwei Standorte von Hochfrequenz-Sendeanlagen. Die Frequenz dieser Sendeanlagen wurde nicht ermittelt und könnte somit auch zwischen 9 kHz und 10 MHz liegen und wäre dann als Vorbelastung gemäß den Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV), Länderausschuss für Immissionsschutz LAI (LAI-Hinweise), zu berücksichtigen. In einer Worst-Case-Abschätzung wurde jedoch festgestellt, dass der Grenzwertanteil der Sendeanlagen bei maximal 0,3 % liegt und deshalb im Weiteren vernachlässigt werden kann.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich:

Dr.-Ing. Gisbert Gralla  
– Projektverantwortlicher –

M. Sc. Felix Martin  
– Projektteam –

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 Stadtwerke München GmbH beabsichtigt eine Erschließung des Münchner Nordens durch Verlängerung der 2009 eröffneten Tramlinie 23. Bei diesem Projekt „Tram Münchner Norden“ wird die Tram bis in das Gebiet der ehemaligen Bayernkaserne und von dort weiter bis zum U-Bahnhof Kieferngarten verlängert. Im Zuge des Neubaus werden neue Gleisanlagen, Fahrdrableitungen und zwei neue Gleichrichterwerke entstehen. Die von den Gleisanlagen und Fahrdrableitungen ausgehenden elektromagnetischen Felder sind Gegenstand einer separaten Untersuchung (Müller-BBM Bericht M157090/02, Titel: „Neubaustrecke Tram Münchner Norden Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit“, vom 27.05.2021).

Dieses Gutachten befasst sich mit der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit der beiden Gleichrichterwerke, wovon eines in Freimann und das andere am Werner-Egk-Bogen errichtet wird.

Dazu sollen die von den beiden geplanten Gleichrichterwerken (TGWs) zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder prognostiziert und nach den zulässigen Werten des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) beurteilt werden.

Weiterhin soll geprüft werden, ob die Vorgaben der Verwaltungsvorschrift 26 BImSchVVwV eingehalten sind.

## 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 >= V2021, 01.01.2021

- [7] Planungsunterlage: Planfeststellung  
Titel: Antrag auf Planfeststellung TGW Werner-Egk-Bogen;  
Grundrisse, Schnitte, Ansichten, Lageplan  
Dateiname: PLANFESTSTELLUNG TMN TGW Werner-Egk-Bogen UTM-Koordinaten\_vorabzug.pdf  
Autor: PBF, Planungsbüro Dipl.-Ing. Färber  
Maßstab: 1:100, 1:1000  
Stand: 21.07.2020, Stadtwerke München GmbH
- [8] Planungsunterlage: Vorentwurfsplan  
Titel: Vorentwurfsplan TGW Freimann Frankfurter Ring  
Dateiname: TMN-1-3-FSH-FÄR-ÜP-001-01-A-F-K.pdf  
Autor: PBF, Planungsbüro Dipl.-Ing. Färber  
Maßstab: 1:100, 1:50  
Stand: 21.07.2020, Stadtwerke München GmbH
- [9] Planungsunterlage: Aufstellungsplan  
Titel: FS\_TMN\_TGW\_WEB\_E-A-P  
Dateiname: FS\_TMN\_TGW\_WEB\_E\_A-P\_02E\_20210421\_A.pdf  
Autor: Hartmann, Stadtwerke München GmbH  
Maßstab: ---  
Stand: 21.04.2021, Stadtwerke München GmbH
- [10] Planungsunterlage: Aufstellungsplan  
Titel: FS\_TMN\_TGW\_FRE\_E-A-P  
Dateiname: FS\_TMN\_TGW\_FRE\_E\_A-P\_02E\_20210419\_A.pdf  
Autor: Hartmann, Stadtwerke München GmbH  
Maßstab: ---  
Stand: 19.04.2021, Stadtwerke München GmbH
- [11] Planungsunterlage: Ausführungsplan  
Titel: Ausführungsplan Gesamtschaltanlage, ER Anlage  
Dateiname: TGW\_E\_US-P\_MSp+DC\_01\_20201102\_A.pdf  
Autor: Bhandari, Stadtwerke München GmbH  
Stand: 02.11.2020, Stadtwerke München GmbH
- [12] Planungsunterlage: Trafobild  
Titel: Gießharztransformator-TT2000, Cast-Resin-Transformator-TT2000  
Dateiname: SGB-Trafobild-NEU\_142015159-10.PDF  
Autor: Rissmann, Starkstrom Gerätebau GmbH  
Maßstab: 1:20  
Stand: 22.04.2021, Stadtwerke München GmbH
- [13] Planungsunterlage: Produktkatalog  
Titel: Schaltanlagen Typ 8DJH für sekundäre Verteilungsnetze bis 24 kV, gasisoliert – Mittelspannungsanlagen  
Dateiname: Anhang1\_catalogue-8djh-de.pdf  
Stand: 2017, Siemens

- [14] Planungsunterlage: Anordnungsplan  
Titel: Gleichrichter B12 - Frontansicht + Seitenansicht A-A, B-B  
Dateiname: Anhang 2\_Gleichrichter B12 (Beispiel von UGW SU).pdf  
Autor: Adisorn P., Siemens  
Maßstab: --  
Stand: 13.04.2020, Stadtwerke München GmbH
  
- [15] Planungsunterlage: Anordnungsplan  
Titel: Gleichrichter B12 – Anmerkung\_SWM\_Bhandari MBBM  
Dateiname: Anmerkung\_SWM\_Bhandari MBBM - Anhang 2\_Gleichrichter B12 (Beispiel von UGW SU).pdf  
Autor: Adisorn P., Siemens; Bhandari, Stadtwerke München GmbH  
Maßstab: --  
Stand: 26.03.2021, Stadtwerke München GmbH
  
- [16] Planungsunterlage: Einliniendiagramm  
Titel: Gleichrichter +E1.1, AC Hauptstromkreis  
Dateiname: UGW\_GR\_B12.pdf  
Autor: Adisorn P., Siemens  
Stand: 13.04.2020
  
- [17] Planungsunterlage: Bilder  
Titel: TGW HAI Trafo 1 und 2, Vorder- und Rückseite  
Stand: 19.03.2021, Stadtwerke München GmbH



### 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 „Bestimmtheit“ 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. BImSchVVwV

Die allgemeine Verwaltungsvorschrift [3] konkretisiert den § 4 Absatz 2 der 26. BImSchV [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. BImSchVVwV [3] ein im Einwirkungsbereich der Anlage liegendes Gebäude oder Grundstück im Sinne des § 4 Absatz 1 der 26. BImSchV 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. BImSchVVwV [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. 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. BImSchVVwV [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 2021 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

Für die elektrotechnischen Anlagen der beiden Gleichrichterwerke wurden die folgenden Anlagenteile gemäß den Planungsunterlagen [7] bis [17] modelliert. Die Gleichrichterwerke unterscheiden sich lediglich in der Anordnung der elektrotechnischen Anlagenteile, ansonsten sind sie gleich aufgebaut.

Die Mittelspannungskabel verlaufen außerhalb des Gebäudes in einer Tiefe von 40 cm unter GOK. Innerhalb der Anlage verlaufen die Kabel im Doppelboden und in den Transformatorräumen in Doppelboden und an der Decke.

1. Eine gasisolierte Mittelspannungsschaltanlage, Typ: 8DJH10  
Höhe der Sammelschienen: 1,3 m, Ein- bzw. Abgänge von unten  
Modellspannung: 10 kV, Modellstrom: **300 A** (in Schränken A1.1 und A1.2)  
bzw. **101 A** (in Schränken A2.1 bis B.2)

zwei Eingangsfelder:

Eingangsstrom: je **300A**

Kabeltyp: 3 x NA2XS2Y 1 x 150 mm<sup>2</sup> (je Eingangsfeld)

ein Messfeld

ein Erdungsfeld

zwei Gleichrichter-Trafofelder:

Abgangsstrom: je **101 A**

Kabeltyp: N2XSH 1 x 70 mm<sup>2</sup>

2. Zwei Vier-Wickler-Gießharz-Trocken-Transformatoren  
Nennleistung pro Transformator: 1,75 MVA  
Kabelanbindung mittelspannungsseitig von oben,  
unterspannungsseitig von oben und unten  
Modellspannung: 10 kV, Modellstrom: **101 A**  
Modellspannung: 610 V, Modellstrom: **1656 A (jeweils 828 A oben und unten)**  
 $U_k$  Transformator 1: 7,5 %  
 $U_k$  Transformator 2: 7,5 %
  
3. Zwei B12-Gleichrichter  
nur die AC-Seite wurde modelliert,  
die Kabelanbindung erfolgt von der Türseite des Gleichrichterschrankes aus dem  
Doppelboden  
Modellspannung: 610 V  
  
Der Transformatorstrom von 1656 A pro B12-Gleichrichter teilt sich auf zwei  
B6-Gleichrichter mit je 828 A auf und dieser dann pro Phase auf zwei Kabel-  
verbindungen mit je 414 A von den Transformatoren zu den Gleichrichtern  
  
je Transformator und Phase: 4 Kabel mit einem Strom von jeweils **414 A**  
Kabeltyp: NHXSGAFHXOE 1 x 300 mm<sup>2</sup>

#### Anmerkungen:

Die Berechnung der magnetischen Flussdichte wurde in einer Höhe von 55 cm durchgeführt. In dieser Höhe wird das Maximum der magnetischen Flussdichte an der Außenwand des Anlagengebäudes erreicht.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die oben beschriebenen elektrischen Betriebsmittel der Gleichrichterwerke TGW Werner-Egk-Bogen und TGW Freimann abgebildet.

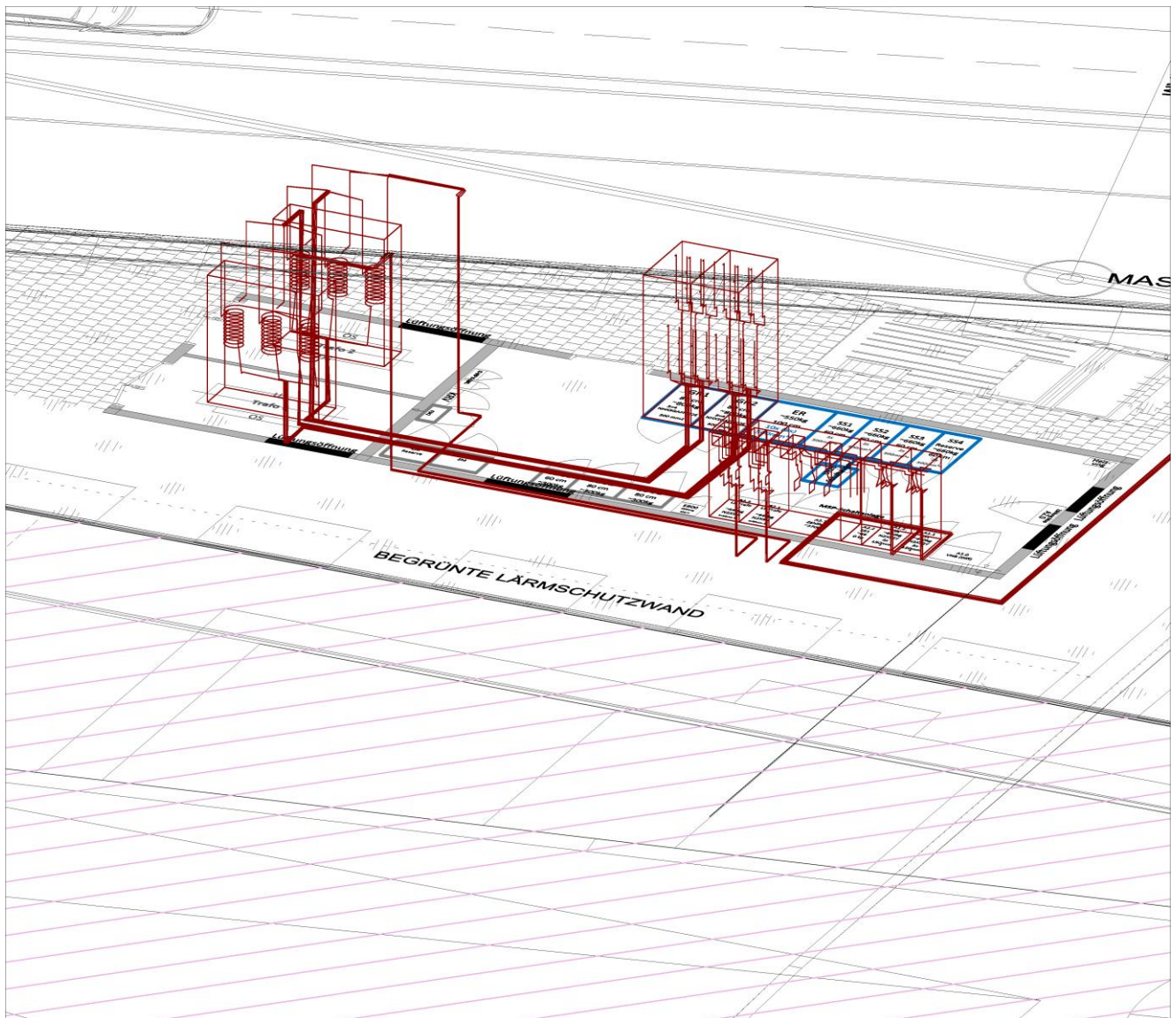


Abbildung 1. TGW Werner-Egk-Bogen –  
räumliche Darstellung der modellierten elektrischen Betriebsmittel über dem Grundriss des Gebäudes.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\157\M157090\M157090\_03\_BER\_1D.DOCX:29. 06. 2021



## 5 Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse für die magnetische Flussdichte sind in den nachfolgenden Abbildungen grafisch dargestellt.

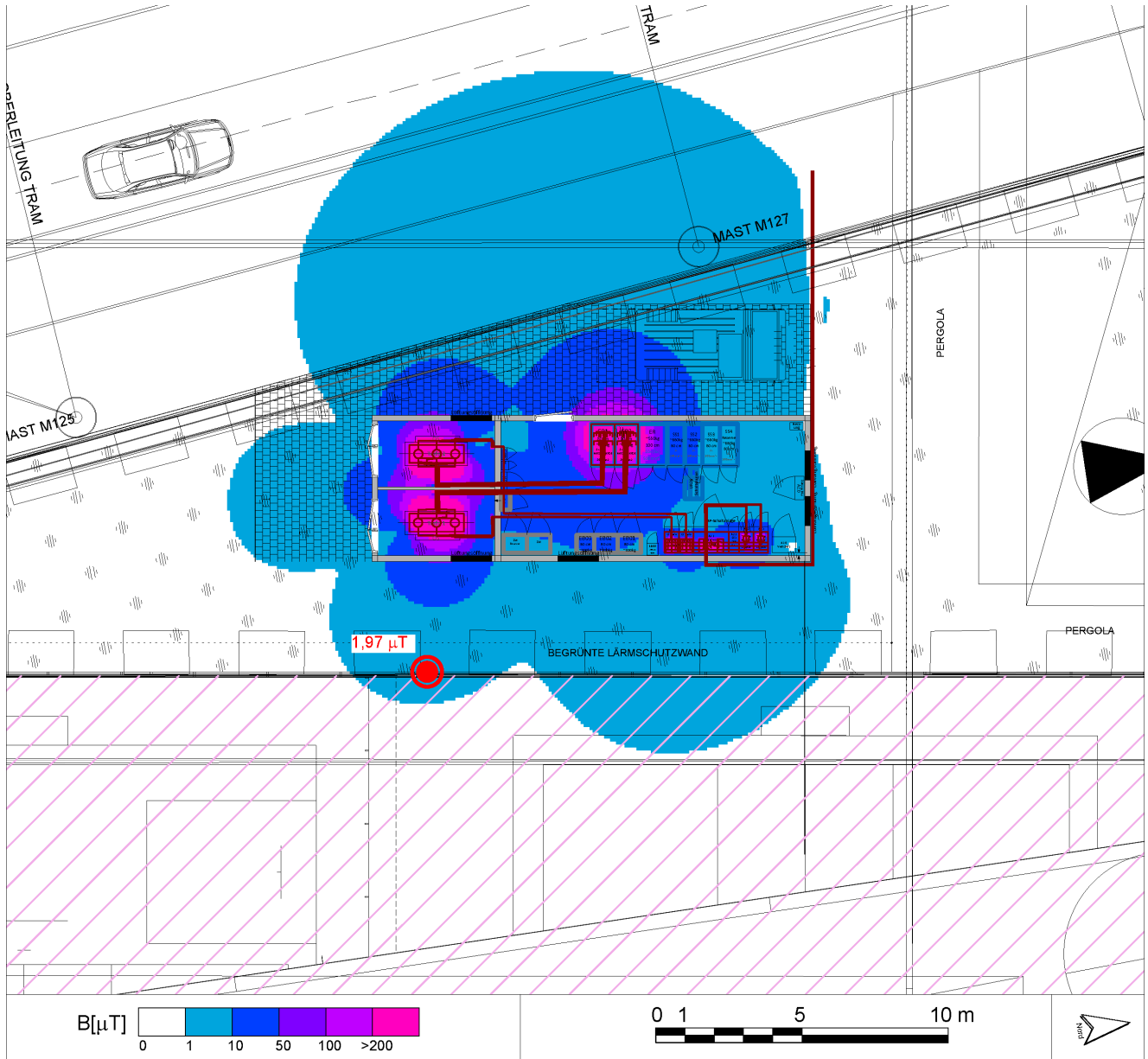


Abbildung 3. TGW Werner-Egk-Bogen –  
Berechnungsergebnis der magnetischen Flussdichte, Horizontalschnitt auf Höhe des  
Maximalwertes in 0,55 m Höhe (inkl. Berechnungsunsicherheit).

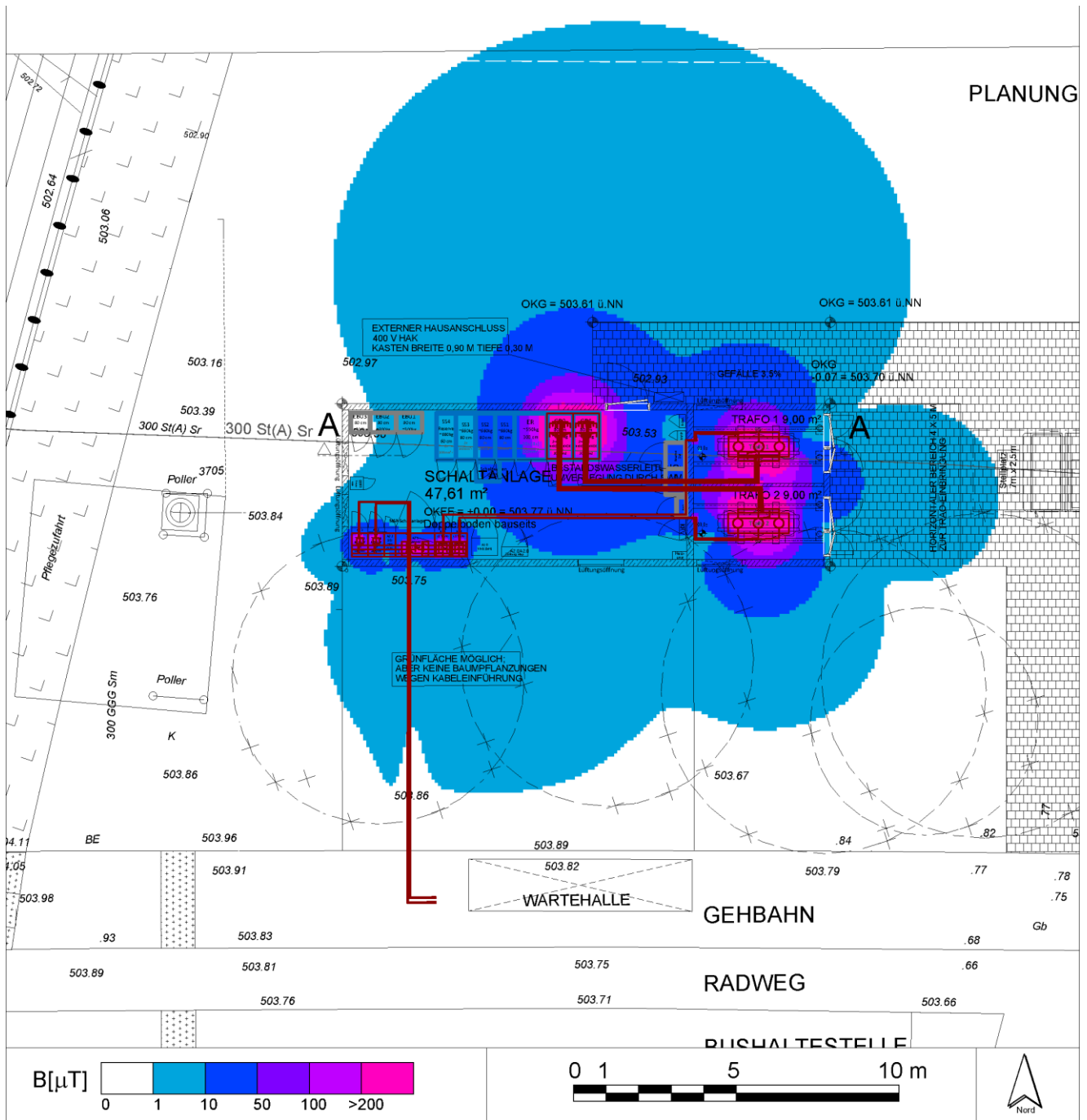


Abbildung 4. TGW Freimann –  
 Berechnungsergebnis der magnetischen Flussdichte, Horizontalschnitt auf Höhe des  
 Maximalwertes in 0,55 m Höhe (inkl. Berechnungsunsicherheit).

In der nachfolgenden Tabelle ist der Maximalwert der magnetischen Flussdichte für beide TGWs an der Gebäudeaußenwand angegeben. Darüber hinaus wurde der minimale Abstand zur Gebäudeaußenwand an der Stelle des Maximums angegeben, ab dem der Grenzwert von 100 µT unterschritten wird. Beim TGW Werner-Egk-Bogen ist zusätzlich der Maximalwert der magnetischen Flussdichte an der Grundstücksgrenze zum Schulcampus Nord angegeben.

\\S-muc-fs01\allefirmen\WM\Proj\157\MM157090\MM157090\_03\_BER\_1D.DOCX:29. 06. 2021



Tabelle 1. Maximalwert der magnetischen Flussdichte an der Gebäudeaußenwand und minimaler Abstand zur Einhaltung des Grenzwerts von 100  $\mu\text{T}$  (inkl. Berechnungsunsicherheit).

Beim TGW Werner-Egk-Bogen ist zusätzlich der Maximalwert der magnetischen Flussdichte an der Grundstücksgrenze zum Schulcampus Nord angegeben.

Gleichrichterwerk	Ort	Maximalwert der magnetischen Flussdichte	Minimaler Abstand zur Einhaltung des Grenzwerts von 100 $\mu\text{T}$
TGW Freimann	Nördliche Gebäudeaußenwand bei den Gleichrichtern	200,2 $\mu\text{T}$	40,0 cm
TGW	Westliche Gebäudeaußenwand bei den Gleichrichtern	204,2 $\mu\text{T}$	41,7 cm
Werner-Egk-Bogen	Grundstücksgrenze Schulcampus Nord	2,0 $\mu\text{T}$	---

## 6 Beurteilung gemäß 26. BImSchVwV

### 6.1 Vorprüfung

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

In einem 10 m Umkreis um das TGW Werner-Egk-Bogen befindet sich der Schulcampus Nord (siehe Abbildung 5), welcher zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen vorgesehen ist; deshalb ist eine Minimierung elektromagnetischer Felder gemäß 26. BImSchVwV durchzuführen.

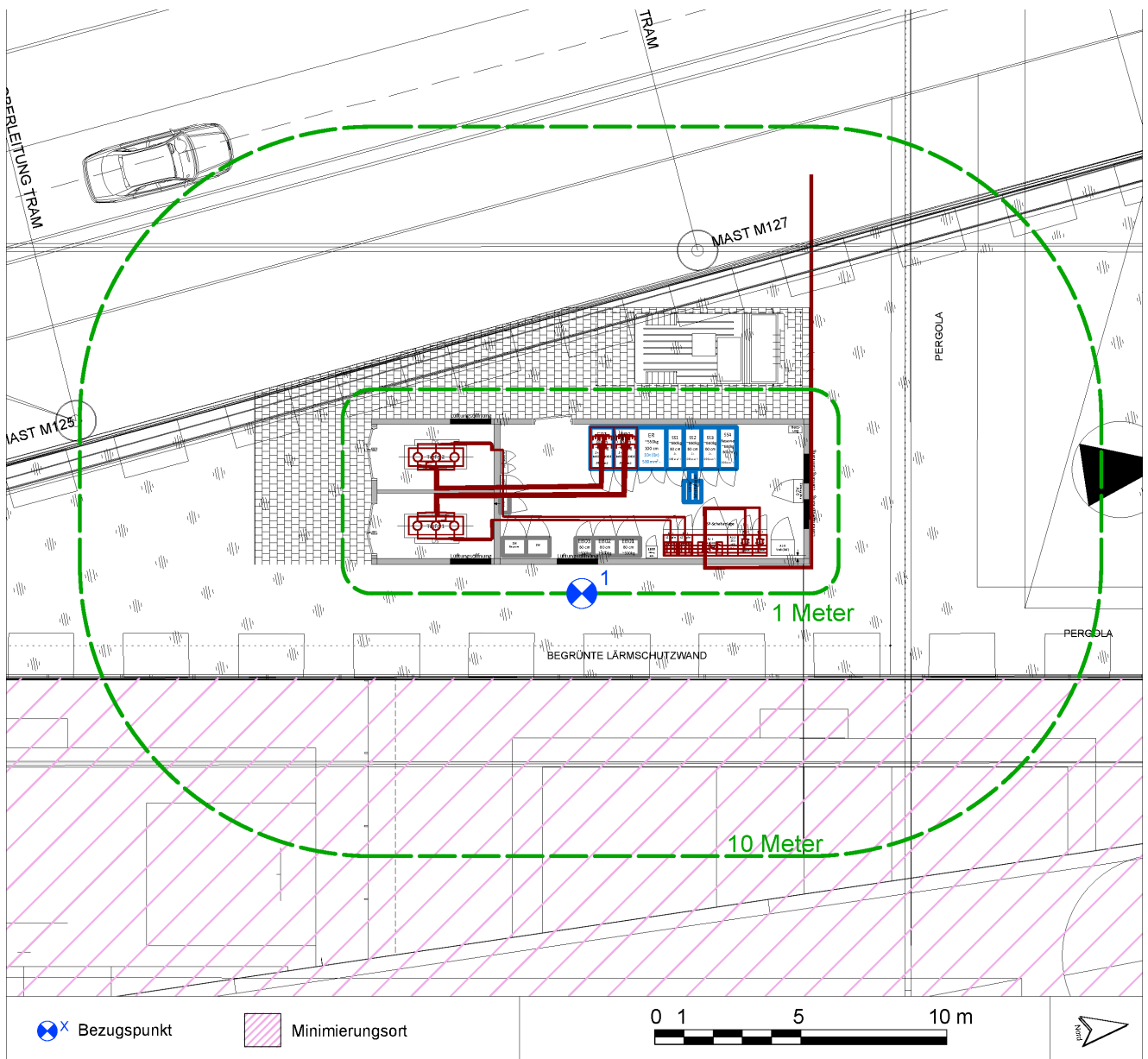


Abbildung 5. Einwirkungsbereich, Bewertungsabstand und maßgeblicher Minimierungsort des TGW Werner-Egk-Bogen.

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\157\M\157090\M\157090\_03\_BER\_1D.DOCX:29. 06. 2021

## 6.2 Minimierungsmaßnahmen

Es sind 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

### **Abstandsoptimierung**

Bei dieser Maßnahme werden die Anlagenteile, welche maßgeblich zur Emission magnetischer Felder beitragen, in größtmöglichem Abstand zum maßgeblichen Minimierungsort errichtet. Dies beinhaltet das Ausrichten der Niederspannungsseite von Transformatoren zu der Seite des Betriebsraumes, welche dem maßgeblichen Minimierungsort abgewandt ist. Außerdem sollten Leitungen auf kürzest möglichem Weg und am weitesten entfernt vom maßgeblichen Minimierungsort geführt werden.

Die wirksamste Maßnahme wäre in diesem Fall, die beiden Gleichrichter an der dem Minimierungsort abgewandte Seite zu platzieren, da diese die größten Immissionen außerhalb des Gebäudes verursachen.

### **Minimieren der Distanz zwischen Betriebsmitteln unterschiedlicher Phasenbelegung**

Um eine bestmögliche Kompensation elektrischer und magnetischer Felder ausgehend von 3-Phasen-Wechselstrom zu gewährleisten, sollten Betriebsmittel unterschiedlicher Phase möglichst nah zusammen kompakt errichtet werden. Voraussetzung dabei ist das Beachten von technischen Randbedingungen, sowie das Einhalten von Mindestluftisolierstrecken zwischen Betriebsmitteln unterschiedlicher elektrischer Potentiale.

### **Optimierung von Einspeisung und Abgängen der Niederspannungsverteilung**

Da hier keine Niederspannungsverteilung vorhanden ist, ist diese Maßnahme hier hinfällig.

## **Anhang**

**Worst-Case-Abschätzung  
zur Berücksichtigung von Sendeanlagen  
in einem Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 10 MHz**

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\157\M157090\M157090\_03\_BER\_1D.DOCX:29. 06. 2021

In einem Radius von 300 m um das Gleichrichterwerk Werner-Egk-Bogen befinden sich laut Angaben der Bundesnetzagentur keine Hochfrequenzanlagen im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 10 MHz.

Um das Gleichrichterwerk Freimann befinden sich jedoch laut Angaben der Bundesnetzagentur zwei Standorte mit Hochfrequenzsendeanlagen (Standortnummern 531224 und 531004), welche nicht für den Mobilfunk verwendet werden. Die Frequenzen, mit denen diese Sendeanlagen betrieben werden, wurden nicht mitgeteilt. Es ist deshalb möglich, dass sie im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 10 MHz liegen. In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Beurteilung relevanten Abstände für die beiden Standortnummern zusammengefasst.

Tabelle 2. Maximalwert der magnetischen Flussdichte an der Gebäudeaußenwand und minimaler Abstand zur Einhaltung des Grenzwerts von 100  $\mu\text{T}$  (inkl. Berechnungsunsicherheit).

Beim TGW Werner-Egk-Bogen ist zusätzlich der Maximalwert der magnetischen Flussdichte an der Grundstücksgrenze zum Schulcampus Nord angegeben.

Standortnummer	Radialer Abstand $r$ zwischen Sendeantenne und TGW	Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung $r_s$
531224	262 m	0,11 m
531004	270 m	0,24 m

Aus den in den Standortinformationen hinterlegten Sicherheitsabständen in Hauptstrahlrichtung  $r_s$  und dem in der 26. BImSchV angegebenen Grenzwert für Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz und 10 MHz von  $B_{\text{GW}} = 27 \mu\text{T}$  kann die Sendeleistung  $P$  der Antennen gemäß folgender Formel abgeschätzt werden.

$$P = 4 \pi r_s^2 \times \frac{B_{\text{GW}}^2}{\mu_0^2} \times Z_0 \quad (1)$$

Dabei ist  $Z_0$  der Wellenwiderstand des Vakuums und  $\mu_0$  die magnetische Feldkonstante.

Die Werte für die magnetische Flussdichte  $B$  am Gleichrichterwerk erhält man dann durch:

$$B = \sqrt{\frac{P}{4 \pi r^2 Z_0}} \times \mu_0 \quad (2)$$

mit  $r$  dem radialen Abstand von der Sendeantenne.

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

$$\sum_{1 \text{ Hz}}^{10 \text{ MHz}} \frac{B_i}{B_{\text{GW}, i}} \leq 1 \quad (3)$$

mit  $B_i$  und  $B_{\text{GW}, i}$  der Immissionsbeitrag der magnetischen Flussdichte und der entsprechende Grenzwert bei der Frequenz  $i$ .

Für den Grenzwertanteil  $A$  der Sendeanlagen in obigem Zusammenhang erhält man:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^2 B_i}{B_{\text{GW}}} = 0,3 \% \quad (4)$$