

Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen
Am Rathaus 2, 09111 Chemnitz

Chemnitzer Modell, Stufe 4
Ausbau Chemnitz – Limbach-Oberfrohna
Planfeststellungsabschnitt 1

FESTSTELLUNGSENTWURF

- Unterlage 17.3 -
Gutachten hinsichtlich der durch den Straßenbahnbetrieb
verursachten magnetischen Gleichfeldänderungen

<p>Vorhabenträger: Zweckverband Verkehrsverbund Mittelsachsen</p> <p>Chemnitz, den 21.12.2023</p> <p>gez. Ronny Grabner</p> <p>.....</p> <p>i.A. Ronny Grabner Geschäftsbereichsleiter Verkehr / Infrastruktur</p>	<p>Maßnahmeträger: Chemnitzer Verkehrs-AG</p> <p>Chemnitz, den 21.12.2023</p> <p>gez. David Joram gez. Holger Auerbach</p> <p>.....</p> <p>ppa. David Joram Holger Auerbach Geschäftsbereichsleiter Betriebsleiter BOStrab Technischer Service</p>

Chemnitzer Modell CM4 - PFA1

Gutachten hinsichtlich der durch den Straßenbahnbetrieb verursachten magnetischen Gleichfeldänderungen

Projekt-Nr. 916060022

30.11.2022

Auftraggeber: VCDB
VerkehrsConsult
Dresden-Berlin GmbH
Könneritzstraße 31
D - 01067 Dresden

Ersteller: Dr.-Ing. Andriy Zynovchenko

Geprüft
Dietmar Ast

Rail Power Systems GmbH

Geschäftsbereich Vertrieb International & Business Development

Abteilung Systemdesign

Anschrift Frankfurter Straße 111
63067 Offenbach am Main
Deutschland

Telefon +49 69 30859-384

E-Mail andriy.zynovchenko@rail-ps.com

© Rail Power Systems GmbH – Alle Rechte vorbehalten.
Vervielfältigung (auch auszugsweise) sowie Weitergabe an Dritte nur mit schriftlicher Genehmigung der Rail Power Systems GmbH oder entsprechend den vertraglichen Bedingungen. Die Aussagen des Dokumentes gelten nur in ihrer Gesamtheit. Fotos und Grafiken, sofern nicht anders angegeben: Rail Power Systems GmbH.

Version	Datum	Änderung, Bemerkung	Initial
00	30.11.2022	Erstausgabe	ZyA

Inhalt

1	Bauvorhaben und Ziele der Untersuchung.....	4
2	Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen	5
2.1	Bahnstromsystem	5
2.2	Gleichrichter-Unterwerke	5
2.2.1	Emissionsgrenzwerte.....	5
2.2.2	Minimierungsgebot und Minimierungsmaßnahmen	5
2.2.3	Praktische Erfahrungen	6
2.3	Fahrleitungsanlage	6
2.3.1	Emissionsgrenzwerte.....	6
2.3.2	Minimierungsmaßnahmen	6
2.3.3	Betriebsbedingungen für die Berechnung	7
2.4	Geräte-EMV	7
3	Berechnungsmodell und Ergebnisse.....	7
4	Zusammenfassung	11
5	Verordnungen, Normen und Vorschriften.....	12

1 Bauvorhaben und Ziele der Untersuchung

Mit dem Infrastrukturprojekt Chemnitzer Modell sollen Stadt und Region sich gegenseitig ergänzen und voneinander profitieren. Durch nur wenige Ergänzungen wird das vorhandene Streckennetz der Straßenbahn und Eisenbahn in und um die Stadt Chemnitz zu einem integrierten Verkehrssystem ausgebaut. Damit sollen schnelle und direkte Verbindungen zwischen dem Oberzentrum und der umliegenden Region entstehen.

Die Stufe 4 ist mit einer 16 Kilometer langen Neubaustrecke die umfangreichste aller Ausbaustufen des Chemnitzer Modells. Nur ein kleiner Teil der Strecke ist eine ehemalige Eisenbahntrasse, die wieder genutzt werden soll. Es ist vorgesehen, eine neue Straßenbahnstrecke vom Chemnitzer Stadtzentrum aus über die Brücken- und Theaterstraße, die Hartmannstraße und entlang der Leipziger Straße bis ins Chemnitz Center an der Bundesautobahn A4 zu errichten.

Mit Umsetzung der Stufe 4 erhält die Stadt Limbach-Oberfrohna wieder eine schnelle und leistungsfähige Anbindung an das Stadtgebiet Chemnitz, das Gewerbegebiet Chemnitz Center und an den überregionalen Schienenverkehr. Sie hat für den Verdichtungsraum eine sehr hohe Bedeutung, da mit ihr große Wohn- und Gewerberäume erschlossen werden

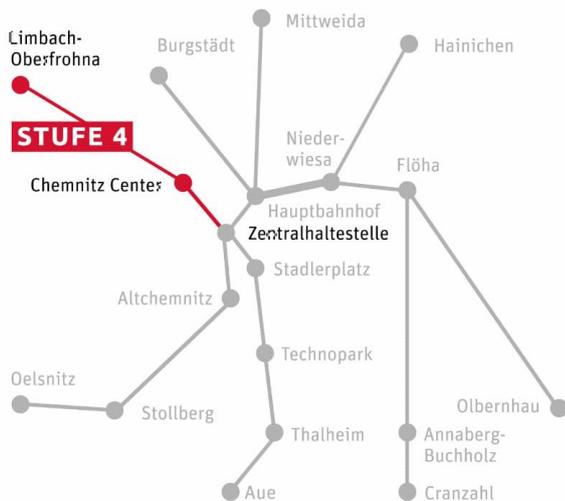


Bild 1: Chemnitzer Modell, Stufe 4 (Quelle: <https://www.chemnitzer-modell.de/stufe-4/>).

Da durch den Fahrbetrieb von Straßenbahnen magnetische Gleichfeldänderungen entstehen, wurde Rail Power Systems GmbH von VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH beauftragt, die im Straßenbahnbereich zu erwartenden magnetischen Gleichfeldänderungen zu berechnen und hinsichtlich 26. BImSchV zu begutachten.

Für die Erstellung des Gutachtens standen uns folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Lagepläne als Vorentwürfe der Stufe 4: Blätter 5.8/401, 5/301, 5.4/201, 5.5/202, 5.6/203, 5/101, 5/102 und 5/103. bis 5.6.

2 Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen

2.1 Bahnstromsystem

Die Chemnitzer Verkehrs-AG (CVAG) betreibt ihr Straßenbahnnetz mit einer Nennspannung von 600 V DC. Die Gleichspannung wird in den Unterwerken durch Heruntertransformieren aus dem Mittelspannungsnetz mit anschließender Gleichrichtung erzeugt und über Speise- und Rückleiterkabel der jeweiligen Strecke zugeführt. Hierbei wird der Pluspol an die Fahrleitung und der Minuspol an die Fahrschienen angeschlossen.

2.2 Gleichrichter-Unterwerke

2.2.1 Emissionsgrenzwerte

Unter die Verordnung über elektromagnetische Felder 26. BImSchV vom 14.08.2013 [1] fallen die Anlagen der Straßenbahnen im Sinne des § 4 Personenbeförderungsgesetz (PBefG). Im Allgemeinen sind dies Straßen-, Stadt- und U-Bahnen, die nach der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) errichtet und betrieben werden. Da diese Bahnen in der Regel mit Gleichspannung (unter 2.000 Volt) betrieben werden, unterliegen vornehmlich die Umspannanlagen (Gleichrichter-Unterwerke) der 26. BImSchV, in denen die vom örtlichen Energieversorgungsunternehmen bereitgestellte 50-Hz-Wechselspannung in eine Gleichspannung umgewandelt wird (siehe Abschnitt II.1.3 in [4]). Laut der genannten Verordnung darf bei einer Frequenz von 50 Hz der maximale Effektivwert des elektrischen Feldes 5 000 V/m und der maximale Effektivwert der magnetischen Flussdichte 100 μ T nicht überschreiten. Die Anforderung gilt bei höchster betrieblicher Anlagenauslastung und an den Orten, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind.

2.2.2 Minimierungsgebot und Minimierungsmaßnahmen

Das Minimierungsgebot ist durch § 4(2) 26. BImSchV [1] gegeben und ist umzusetzen.

In [2] ist das Ziel des Minimierungsgebotes formuliert. Es besteht darin, die von Niederfrequenz- und Gleichstromanlagen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder nach dem Stand der Technik unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich so zu minimieren, dass die Immissionen an den maßgeblichen Minimierungsorten der jeweiligen Anlage minimiert werden.

Die Minimierungsmaßnahmen für Gleichrichter-Unterwerke sind in der VDV-Mitteilung 5000 [6] beschrieben. Diese umfassen eine geeignete Anordnung der Transformatoren und Kabelführung zur Reduktion der magnetischen Wechselfelder:

- Anordnung der Niederspannungsanschlüsse der Transformatoren in Richtung Unterwerksinneres;
- Führung der Kabeltrassen zwischen den Transformatoren und den Gleichrichterzellen innerhalb des Unterwerks mit größtmöglichem Abstand zu den Außenwänden, sowie Führung der drei Phasen in einer Trasse möglichst eng aneinander;
- Aufweitung der Kabel zum Anschluss an die Transformatoren und den Gleichrichter über einen möglichst kurzen Weg;

- Anordnung der Transformatoren und der Gleichrichterzellen auf der dem kritischen Immissionsort abgewandten Seite des Unterwerks;
- Führung der Speise- und Rückleiterkabel in einer Trasse möglichst eng aneinander.

2.2.3 Praktische Erfahrungen

Praktische Erfahrungen und durchgeführten Messungen [6] zeigen, dass die Maximalwerte der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke unterhalb der in [1] genannten Grenzwerte von entsprechend 100 μT und 5 000 V/m liegen, wenn die Minimierungsmaßnahmen nach Abschnitt 2.2.2 umgesetzt sind.

2.3 Fahrleitungsanlage

2.3.1 Emissionsgrenzwerte

Die eigentlichen Straßenbahnstrecken unterliegen nicht der 26. BImSchV. Zwar werden in der Verordnung zulässige Werte für Gleichfelder angegeben. Jedoch gelten diese nur für Anlagen mit einer Spannung von 2 000 V und mehr.

Durch den Fahrbetrieb von Gleichstrombahnen entstehen magnetische Gleichfeldänderungen, die sich dem natürlichen Erdmagnetfeld (ca. 50 μT) überlagern. Hinsichtlich der Beurteilung einer möglichen Beeinträchtigung von Personen empfehlen die WHO und der Rat der Europäischen Union einen Basisgrenzwert von 40 mT. Dieser Wert gilt insbesondere für die Bereiche, in denen sich Einzelpersonen für eine erhebliche Zeit aufhalten, aber nicht zum Schutz von Arbeitnehmern am Arbeitsplatz. Unabhängig hiervon empfiehlt jedoch die Strahlenschutzkommission zur Vermeidung von Störbeeinflussungen von elektronischen Implantaten (z.B. Herzschrittmachern oder Defibrillatoren) ortsfeste Gleichstrom-Energieversorgungsanlagen so zu planen, zu errichten und zu betreiben, dass die auftretenden magnetischen Felder in nicht gekennzeichneten Bereichen, die Implantatträgern zugänglich sind, auch bei höchster betrieblicher Auslastung 500 μT nicht überschreiten.

Bezogen auf einen Fahrstrom von 1 kA liegen im Allgemeinen die durch den Fahrbetrieb verursachten Gleichfeldänderungen in einem Abstand von 10 m von der Straßenbahntrasse in der Größenordnung von 15 μT , siehe DIN EN 50121-2 [5].

2.3.2 Minimierungsmaßnahmen

Die in Frage kommenden Minimierungsmaßnahmen sind auf ihre Verhältnismäßigkeit zu bewerten. Es kommen keine Maßnahmen in Betracht, die mit unververtretbarem Aufwand nicht im Verhältnis zu dem Nutzen stehen. Hierbei sind zum Beispiel die Immissionsreduzierung an den maßgeblichen Minimierungsorten, die Wirksamkeit der Maßnahmen, die Auswirkungen auf die Wartung und Verfügbarkeit der Anlagen sowie die Wirtschaftlichkeit (Investitions- und Betriebskosten) der Maßnahmen zu berücksichtigen.

- Abstandsoptimierung (Optimierung des Trassenverlaufs) zwecks Vergrößerung des Abstandes der Fahrleitung zu den maßgeblichen Minimierungsorten,
- Verlegung von Kompensationskabeln unter die Gleisachsen und ihre Verbindung mit der Fahrleitung in gewissen Abständen,

- Minimieren des Fahrstromes durch zweiseitige Speisung und Verkürzung der Abstände zwischen den Gleichrichter-Unterwerken.

Eine technisch-wirtschaftliche Bewertung einzelner Maßnahmen ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

2.3.3 Betriebsbedingungen für die Berechnung

Für die betrachtete Fahrleitungsstrecke soll die Berechnung für die höchste betriebliche Anlagenauslastung durchgeführt werden. Generell ist die höchste betriebliche Anlagenauslastung durch eine technische Grenze charakterisiert. Bei Freileitungen und Kabeln liegt die höchste betriebliche Anlagenauslastung beim höchsten thermischen Dauerstrom vor (siehe [4], Abschnitt II.3a.4).

für die Fahrleitung bestehend aus je einem Fahrdraht AC-120 CuAg pro Gleis errechnen wir den höchsten thermischen Dauerstrom von 500 A/Gleis. Grundlagen der thermischen Berechnung sind:

- Umgebungstemperatur 25°C,
- Windgeschwindigkeit 1 m/s,
- maximal zulässige Temperatur des Fahrdrahtes 80°C,
- maximale Abnutzung des Fahrdrahtes 30%.

2.4 Geräte-EMV

In DIN EN 50121-2 werden zusätzlich Grenzwerte für die Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt angegeben. Allerdings beziehen sich die Angaben nur auf Felder von 9 kHz bis 1 GHz. Die dort genannten Werte liegen unterhalb der Störfestigkeitsanforderungen anderer elektrischer Geräte, so dass Beeinträchtigungen durch hochfrequente Felder in der Regel ausgeschlossen werden können.

Die für das magnetische Gleichfeld genannten Werte gewährleisten jedoch nicht zwangsläufig ein einwandfreies Funktionieren von hochempfindlichen wissenschaftlichen und medizinischen Geräten wie Elektrokronenrastermikroskope, Kernspintomographen usw. In diesen Fällen kann jedoch kein allgemeiner Grenzwert angegeben werden, sondern es sind Einzelfallbetrachtungen notwendig, um bewerten zu können, ob mit Beeinträchtigungen gerechnet werden muss. Nach der jetzigen Einschätzung konnten keine Einrichtungen mit hochempfindlichen Geräten in der Streckenumgebung identifiziert werden, die durch den geplanten Straßenbahnbetrieb beeinträchtigt werden könnten.

3 Berechnungsmodell und Ergebnisse

Für die Ermittlung der magnetischen Felder einer Straßenbahnfahrleitung wird das Programmsystem CATFIELD verwendet. Mit den Eingangsdaten wie geometrische Leiteranordnung und Ströme einzelner Leiter (siehe **Tabelle 1**) errechnet das CATFIELD die magnetische Flussdichte in der Fahrleitungsumgebung nach dem Biot-Savart-Gesetz.

Das CATFIELD-Modell ist in **Bild 2** und die Berechnungsergebnisse in **Bild 3** und **Bild 4** dargestellt.

Tabelle 1: Eingabedaten für die Magnetfeldberechnung mit CATFIELD.

Leiter	X, m	Y, m	Strom, A
Fahrdraht Gleis 1	-1,550	5,500	500
Schiene 1 Gleis 1	-2,268	0,000	250
Schiene 2 Gleis 1	-0,833	0,000	250
Fahrdraht Gleis 2	1,550	5,500	500
Schiene 1 Gleis 2	0,833	0,000	250
Schiene 2 Gleis 2	2,268	0,000	250

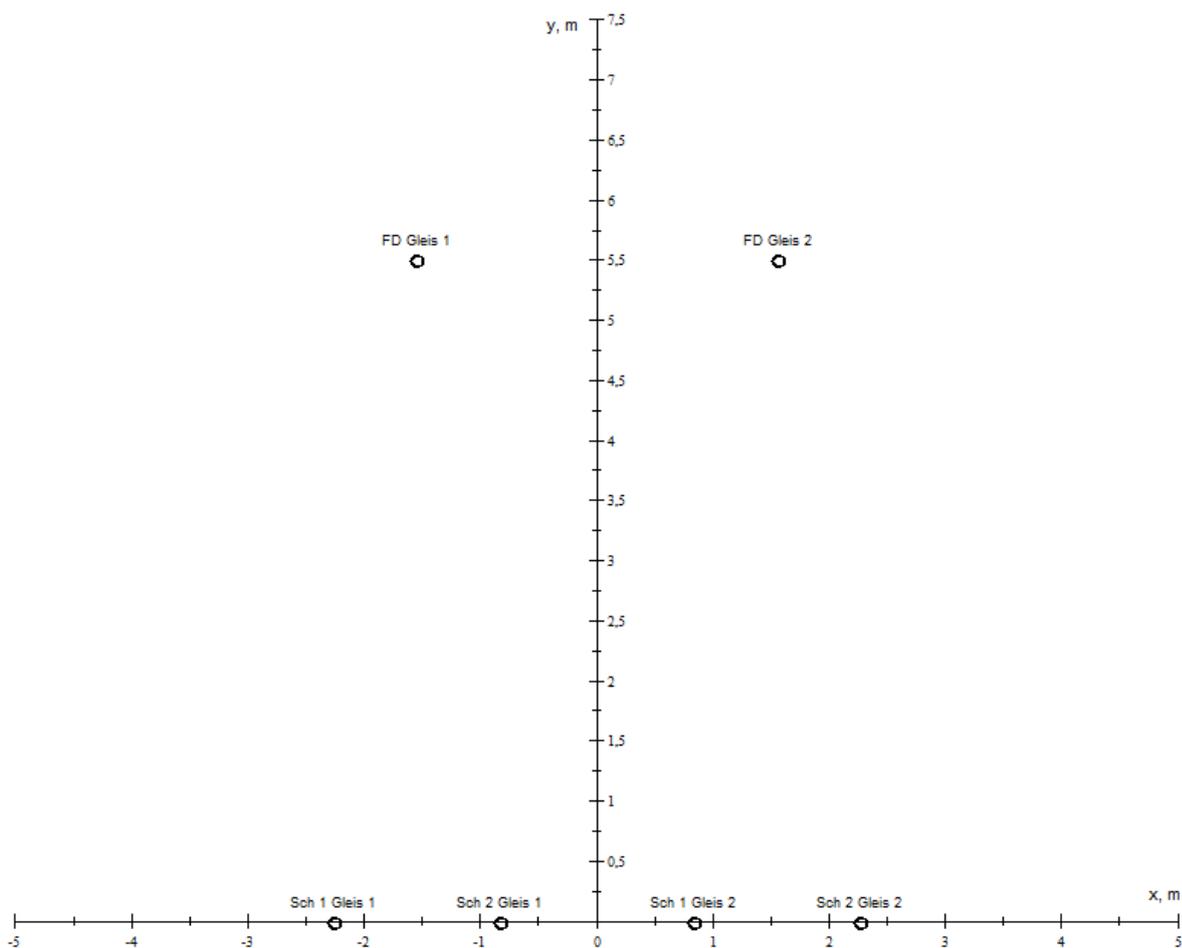


Bild 2: CATFIELD-Modell der Fahrleitung.

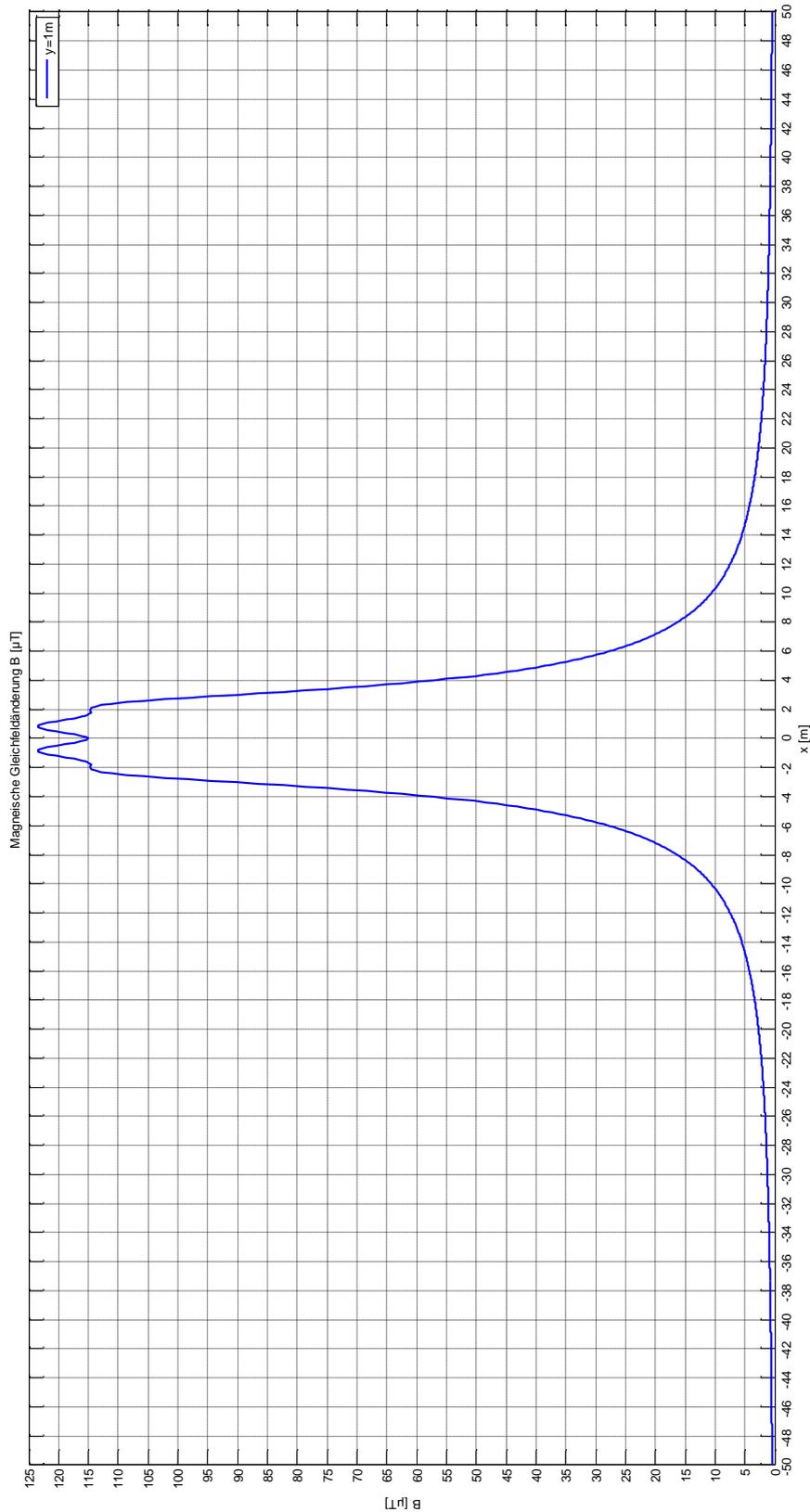


Bild 3: Magnetische Gleichfeldänderungen im Bereich Straßenbahnfahrleitung der Stufe 4, PFA 1 in 1 Meter Höhe über dem Boden, lineare Darstellung der B-Achse.

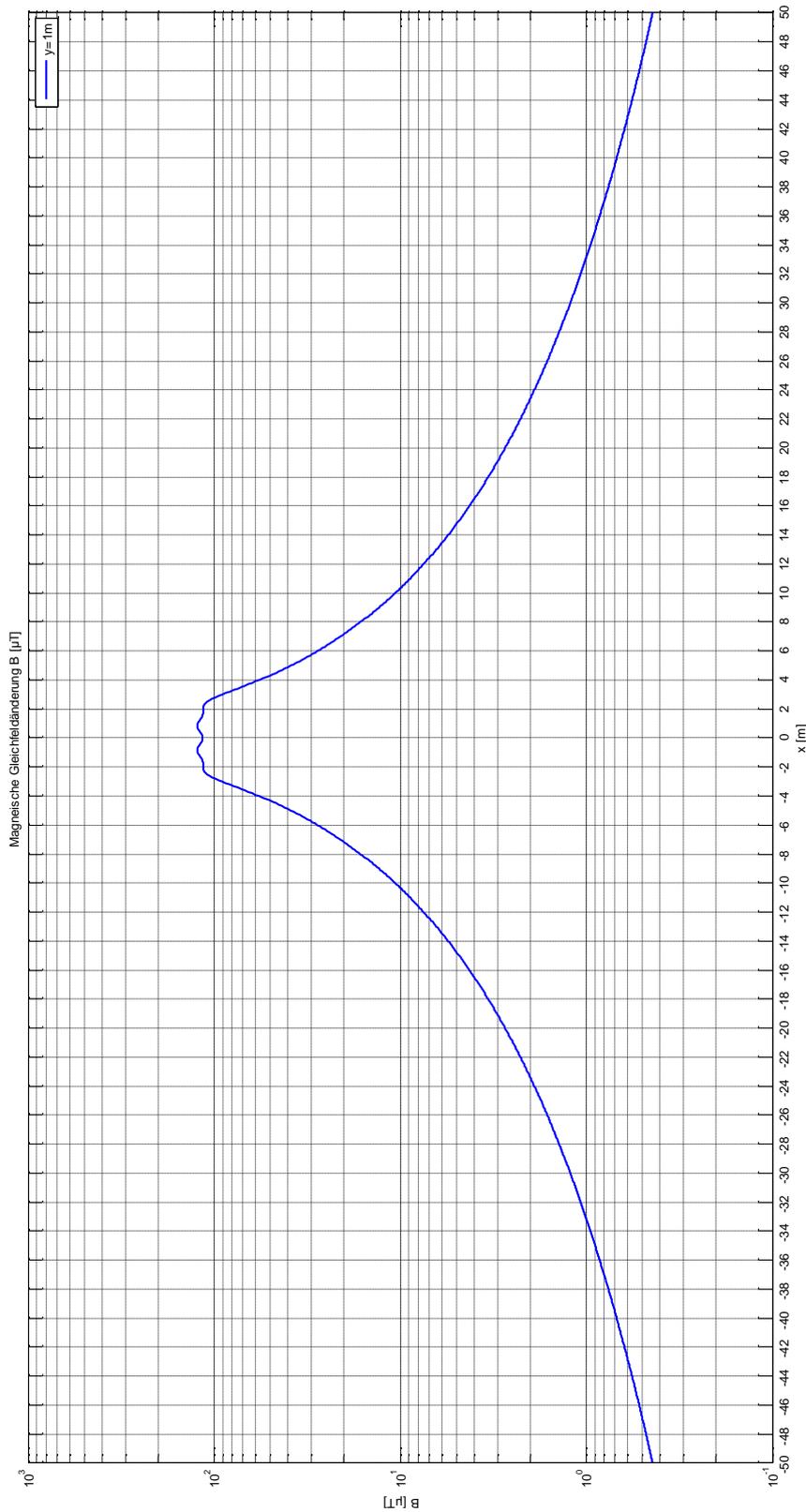


Bild 4: Magnetische Gleichfeldänderungen im Bereich Straßenbahnfahrleitung der Stufe 4, PFA 1 in 1 Meter Höhe über dem Boden, logarithmische Darstellung der B-Achse.

4 Zusammenfassung

Durch den Bau von Gleichrichterunterwerken und den Betrieb der Straßenbahn im Betrachtungsabschnitt treten hinsichtlich der 26. BImSchV keine unzulässig hohen elektrische und magnetische Felder auf, sodass nach dem heutigen Kenntnisstand eine Beeinträchtigung von Personen ausgeschlossen werden kann. Voraussetzung ist die technisch-wirtschaftliche Überprüfung und ggf. Umsetzung der Minimierungsmaßnahmen nach Abschnitt 2.2.2 und Abschnitt 2.3.2.

In der Umgebung der Fahrleitung und auch direkt unter der Fahrleitung treten Werte auf, die bei der geplanten Straßenbahnstrecke deutlich kleiner sind als 500 μT .

Einrichtungen mit wissenschaftlichen und/oder medizinischen Geräte, die besonders empfindlich gegen magnetische Gleichfeldänderungen sind, konnten in der Umgebung des Bauvorhabens nicht identifiziert werden.

5 Verordnungen, Normen und Vorschriften

- [1] 26. BImSchV
Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder), 21.08.2013
- [2] 26. BImSchVVwV
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV,
vom 26. Februar 2016 (BAntz AT 03.03.2016 B5)
- [3] Bekanntmachung der Begründung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV (26. BImSchVVwV),
durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit,
vom 26. Februar 2016
- [4] LAI-Hinweise zur Durchführung der 26. BImSchV
Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV)
in der Fassung des Beschlusses der 128. Sitzung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für
Immissionsschutz am 17. und 18. September 2014 in Landshut
- [5] DIN EN 50121-2 (VDE 0115-121-2): Juli 2007
Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit –
Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
- [6] VDV-Mitteilung 5000
Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) –
Anwendung auf die elektrischen Energieanlagen von Gleichstrombahnen