

Siemens

Mobility

Mobilitätsdrehscheibe Augsburg
Linie 5 vom Hauptbahnhof zum Universitätsklinikum

Anlage 14.01

Planfeststellung
vom 18.12.2020

Stadtwerke Augsburg Verkehrs-GmbH

Mobilitätsdrehscheibe Augsburg MDA: Neubau Linie 5

Gewerk: Fahrstromversorgungsanlage

Technischer Bericht

Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten
Version 2.0

Freigegeben:	<u>Ch. Schmidt</u>	<u>MO TPE RE 2 PSU</u>	<u>24.11.2017</u>	<u>C. Schmidt</u>
	_____	_____	_____	_____
Geprüft:	<u>W. Braun</u>	<u>MO TPE RE EN&OP SE</u>	<u>24.11.2017</u>	<u>W. Braun</u>
	_____	_____	_____	_____
Erstellt:	<u>S. Schmolke</u>	<u>MO TPE RE EN&OP SE</u>	<u>24.11.2017</u>	<u>S. Schmolke</u>
	_____	_____	_____	_____
	Name	Org. Einheit	Datum	Unterschrift

Änderungsmanagement

Status	Revision	Bearbeitet	Beschreibung
05.08.2016	V 1.0	alle	Neuerstellung
24.11.2017	V 2.0	Messort 2	Variante Holzbachstraße

Technischer Bericht Stadtwerte Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 2 von 23
---	--	--	----------------------

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Abkürzungen und Definitionen	6
2.1	Abkürzungen	6
2.2	Definitionen	6
3	Literaturverzeichnis	8
4	Voraussetzungen	9
4.1	Traktionsspannung	9
4.2	Fahrleitungsanlage	9
4.2.1	Fahrschienen	9
4.2.2	Fahrleitungsgeometrien	9
4.3	Magnetfeld Isolinienfläche.....	11
5	Berechnungen	12
5.1	Allgemein	12
5.2	SITRAS®-Sidytrac: Magnetfeld Funktion	14
5.3	Rechenmodell.....	16
5.4	Varianten.....	16
6	Ergebnisse.....	19
6.1	Allgemeines	19
6.2	Magnetfeld	19
6.2.1	DC Magnetfeld Ort 1 (Anlage 4) :	19
6.2.2	DC Magnetfeld Ort 2 (Anlage 5):	19
6.2.3	DC Magnetfeld Ort 3 (Anlage 6):	19
7	Bewertung	21
8	Zusammenfassung	22
9	Anlagen.....	23
9.1	Anlage 1	23
9.2	Anlage 2	23
9.3	Anlage 3	23
9.4	Anlage 4	23
9.5	Anlage 5	23
9.6	Anlage 6	23
9.7	Anlage 7	23

1 Einleitung

Die swa – Straßenbahn Augsburg Verkehrs-GmbH - hat die Siemens AG im Rahmen der Planfeststellung und Genehmigung (nach §28 Personenbeförderungsgesetz (PBefG)) für den Neubau der Linie 5 mit einem Gutachten der zu erwartenden Belastung der Umwelt (Umweltverträglichkeitsprüfung) in Bezug auf elektromagnetische Felder (EMV) durch Analyse der Fahrleitungsanordnung und deren unmittelbare Umgebung beauftragt.

Im Rahmen dessen soll das magnetische Gleichfeld der Oberleitungsanlage im Bereich der Neubau-Strecke der Gleichstrom Straßenbahn Linie 5 an drei Punkten von besonderem Interesse untersucht und der Nachweis geführt werden, dass keine Gesundheitsgefährdung durch elektromagnetische Felder besteht. Die Linie 5 wird durch drei GUV gespeist, die aus EMV Sicht als Emittand zu betrachten sind. Die betroffenen Gleichrichterstationen sind nicht Bestandteil dieser Studie, da zuerst in weiteren Planungsphasen durch Überprüfung des Einwirkungsbereiches zu untersuchen ist ob an den GUV Standorten ein maßgeblicher Immissionsort nach [1] vorliegt. Abhängig davon sind ggf. weitere Berechnungen notwendig. Die Berechnung wird mit dem Siemens Simulationsprogramm SITRAS[®] Sidytrac durchgeführt. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Oberleitungsanlage mit allen stromführenden Leitern und deren geometrischer Anordnung eingegeben werden.

EMV ist die Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne in diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässige elektromagnetische Störgrößen einzubringen.

Für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb elektrischer Anlagen ist die elektromagnetische Kompatibilität aller ihrer Komponenten untereinander sowie mit ihrer elektromagnetischen Umwelt unerlässlich.

Elektromagnetische Störungen müssen auf einen akzeptablen Wert begrenzt werden, und Geräte, die in der Nähe von Störquellen betrieben werden, benötigen ein angemessenes Störfestigkeitsniveau, damit die Anlage in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend funktioniert. Darüber hinaus darf die Anlage ihre Umgebung nicht unangemessen beeinflussen.

Auch wenn EMV nach ihrer Definition die Kompatibilität von Betriebsmitteln (Geräten und ortsfesten Anlagen) untereinander betrifft steht in diesem Bericht die Gesundheit von Personen im elektromagnetischen Feld im Vordergrund.

Es wird gezeigt, dass mit der Einhaltung der Grenzwerte aus den relevanten Gesetzen und Vorschriften der Schutz der Allgemeinheit vor schädlichen Einwirkungen durch elektromagnetische Felder, insbesondere auch für Personen mit Herzschrittmachern und anderen Implantaten, ebenfalls erfüllt wird.

Die Ergebnisse dieses Berichtes können auch zur Bewertung bzgl. Anlagen EMV dienen. Es ist vorauszuschicken, dass magnetische Gleichfelder lediglich eine mechanische Kraftwirkung hervorrufen können, die im vorliegenden Fall aufgrund ihrer geringen Größe bei üblichen Geräten keine Störung verursachen kann. Durch Induktionswirkung hervorgerufene Störungen sind nur durch die Veränderung des Magnetfeldes dB/dt möglich. Das durch den Fahrbetrieb von Gleichstrombahnen erzeugte dB/dt ist dazu nicht geeignet.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 4 von 23
---	--	--	----------------------

Die Vorgaben für die Berechnungen wurden weitestgehend aus dem im Vorfeld erstellten Dokument:

- Konzept und Simulation der Bahnstromversorgung bei Zugbetrieb im Rahmen der Vorplanung (Lph. 2) / Stand 15.06.2016

übernommen und das zu Grunde liegende Simulationsmodell an Hand der in Dokument:

- swa-Regelquerschnitt / Stand: 04/2016

enthaltenen Daten angepasst für die Magnetfeldberechnung.

Technischer Bericht Stadtwere Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 5 von 23
--	--	--	----------------------

2 Abkürzungen und Definitionen

2.1 Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
DC	Gleichstrom, sinngemäß auch Gleichspannung
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMV-U	Elektromagnetische Verträglichkeit -Umwelt und Mensch
EMI	Elektromagnetische Beeinflussung
EN	Europäische Norm
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
ICNIRP	International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (Internationale Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung)
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation, eine Sonderorganisation der UNO)
26. BImSchV	Bundes-Immissionsschutzgesetz, siehe [1]
kA	Kiloampere (Stromstärke)
BS	Standort Boschstraße
KT	Kuppeltrenner
LB	Standort Luitpoldbrücke
KH	Standort Kriegshaber
BAC	Standort Bürgermeister-Ackermann-Straße
Hes	Standort Hessenbachstraße
Hbf	Standort Hauptbahnhof

Tabelle 2-1 Liste der Abkürzungen

2.2 Definitionen

Für ein gemeinsames Verständnis der technischen Anforderungen sind einige Definitionen unerlässlich. Die Folgende Tabelle enthält die wesentlichsten Begriffe, für weitere Definitionen siehe das elektrotechnische Wörterbuch IEC 60050 Teil 161.

Nr.	Begriff Norm [int. Referenznummer]	Definition
1.	elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) [IEC 60050-161-01-07]	Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in ihrer/seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne in diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässige elektromagnetische Störgrößen einzubringen
2.	elektromagnetische Störung, elektromagnetische Funktionsstörung [IEC 60050-161-01-06]	Beeinträchtigung der Funktion einer Einrichtung, eines Übertragungskanal oder Systems, die durch eine elektromagnetische Störgröße verursacht wird

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 6 von 23
--	--	---	----------------------

3.	elektromagnetische Aussendung, Aussendung [IEC 60050-161-01-08]	Erscheinung, bei der elektromagnetische Energie aus einer Quelle austritt Nationale Fußnote: Wenn die Aussendung als unerwünschte Beeinflussung einer Einrichtung zu betrachten ist wird der Ausdruck "Störaussendung" bevorzugt
4.	Intersystem-Störung [IEC 60050-161-01-15]	elektromagnetische Funktionsstörung, die in einem System durch eine elektromagnetische Störgröße verursacht wird, die von einem anderen System ausgeht <i>Anmerkung: Es müssen zwei Ebenen betrachtet werden. In der unteren Ebene geht es um Intersystem-Störungen zwischen den Teilsystemen des Bahnsystems untereinander. In der oberen Ebene geht es um Intersystem-Störungen des gesamten Bahnsystems mit seiner Umgebung.</i>
5.	Intrasystem-Störung [IEC 60050-161-01-16]	elektromagnetische Funktionsstörung, die innerhalb eines Systems infolge einer in demselben System erzeugten elektromagnetischen Störgröße auftritt <i>Anmerkung: Auf dieser Ebene werden gegenseitige Störungen von Apparaten innerhalb eines Teilsystems der Bahnanlage betrachtet.</i>
6.	Störfestigkeit (gegenüber einer Störgröße) [IEC 60050-161-01-20]	Fähigkeit eines Geräts, einer Ausrüstung oder eines Systems, in Gegenwart einer elektromagnetischen Störgröße ohne Beeinträchtigung der Funktion zu funktionieren
7.	Umgebung [EN 50121-2]	umgebende Gegenstände oder Gebiete, die das Verhalten des Bahnsystems beeinflussen und/oder durch das Bahnsystem beeinflusst werden können

Tabelle 2-2 Liste der Definitionen

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 7 von 23
---	--	--	----------------------

3 Literaturverzeichnis

- [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. 32).
- [2] ICNIRP GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS; PUBLISHED IN:HEALTH PHYSICS 96(4):504-514;2009.
- [3] EMPFEHLUNG DES RATES vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz) (1999/519/EG).
- [4] RICHTLINIE 2013/35/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder), (20. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/40/EG.
- [5] DGUV Regel 103-013 Elektromagnetische Felder (BGR B11) Aktualisierte Nachdruckfassung Januar 2006.
- [6] EN 50122-1:2011 Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung - Teil 1: Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag.

Technischer Bericht Stadwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 8 von 23
--	--	--	----------------------

4 Voraussetzungen

4.1 Traktionsspannung

Das Augsburger Straßenbahnnetz wird mit 600 V Gleichspannung betrieben. Diese werden aus dem 10 kV Netz über Trockentransformatoren und Gleichrichtern in B6 Brückenschaltung erzeugt.

4.2 Fahrleitungsanlage

Der Aufbau der Fahrleitung ist entlang der untersuchten Strecke unterschiedlich. Für die Neubaustrecke der Linie 5 ist der Einsatz des nachfolgenden Typs 3 geplant. *In der Wendeschleife wird Typ 1 verwendet.*

Typ 3: **1x RiS 120, TS 95Cu pro Gleis**
Widerstand bei 60° C: 108 mΩ/km mit 20% Abnutzung des Fahrdrahtes

Typ 1: **1x RiS 100 pro Gleis**
Widerstand bei 60° C: 256 mΩ/km mit 20% Abnutzung des Fahrdrahtes

4.2.1 Fahrschienen

Die Fahrschienenkonfiguration ändert sich entlang der Strecke.

Es gibt 2 unterschiedliche Fahrschientypen:

Fahrschientyp 1: **S41**
Widerstand bei 60° C: 28 mΩ/km (10 % abgenutzt)

Fahrschientyp 2: **Ri60**
Widerstand bei 60° C: 19 mΩ/km (10 % abgenutzt)

Zur Berechnung des Streckenabschnitts „Thelottviertel“ bis „Luitpoldbrücke“ wurde der Schientyp Ri60 angewandt. Der Neubaustrecke wurde der Schientyp S41 zugrunde gelegt. *Für den vorhandenen Streckenabschnitt von der „Hst. Augsburg - West“ bis zur Wendeschleife ZK wurde der Schientyp aus dem aktuellen SWA-Gesamtfahrstromkonzept übernommen.*

4.2.2 Fahrleitungsgeometrien

An den Messorten sind unterschiedliche Fahrleitungsgeometrien zu berücksichtigen. Unterschiede liegen im Gleismittenabstand und in der Anzahl Gleise.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 9 von 23
--	--	--	----------------------

Abbildung 4-1 zeigt die Fahrleitungsanordnung am Messort 1, Nähe GUW BS.

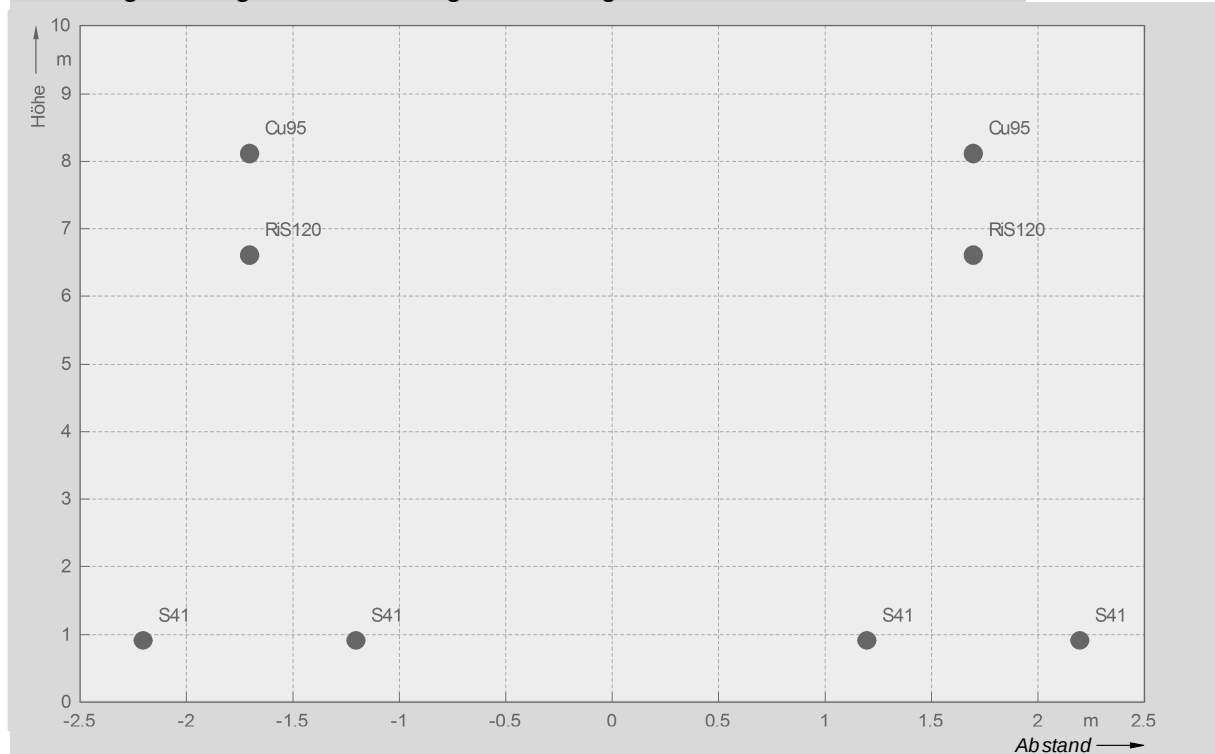


Abbildung 4-1: Leiteranordnung am Messort 1

Abbildung 4-2 zeigt die Fahrleitungsanordnung am Messort 2, Holzbachstraße/Luitpoldbrücke.

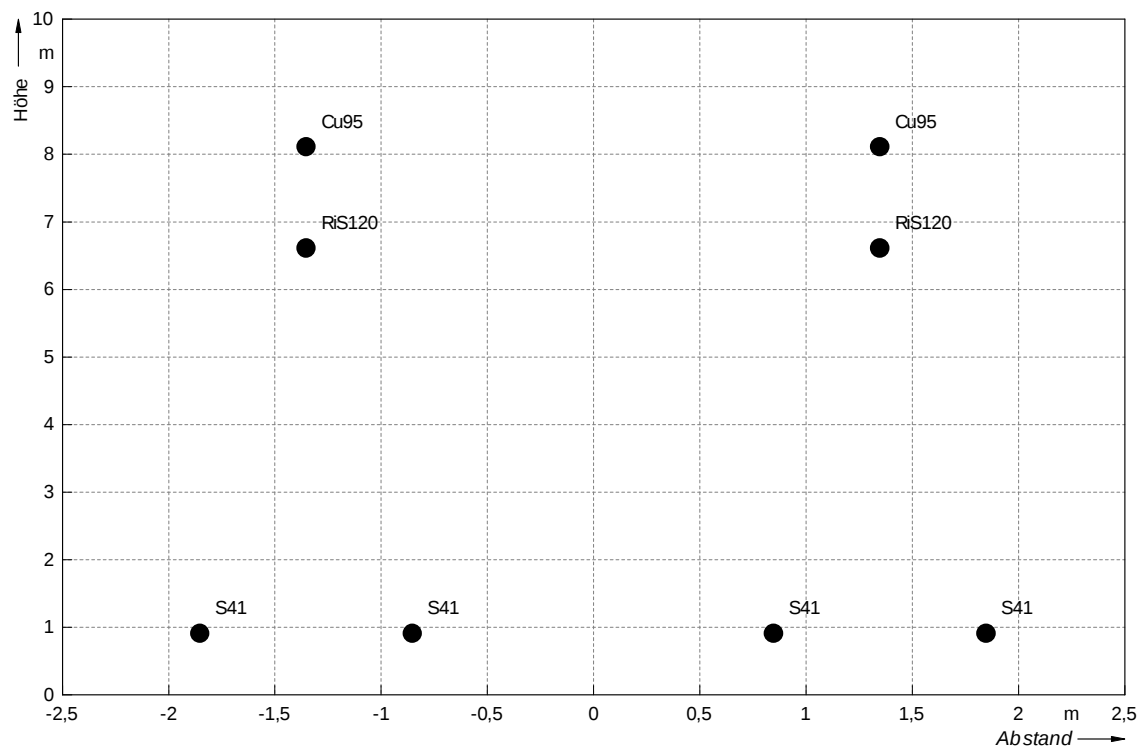


Abbildung 4-2: Leiteranordnung am Messort 2

Abbildung 4-3 zeigt die Fahrleitungsanordnung am Messort 3, Perzheimstraße/Sebastian Buchegger Platz.

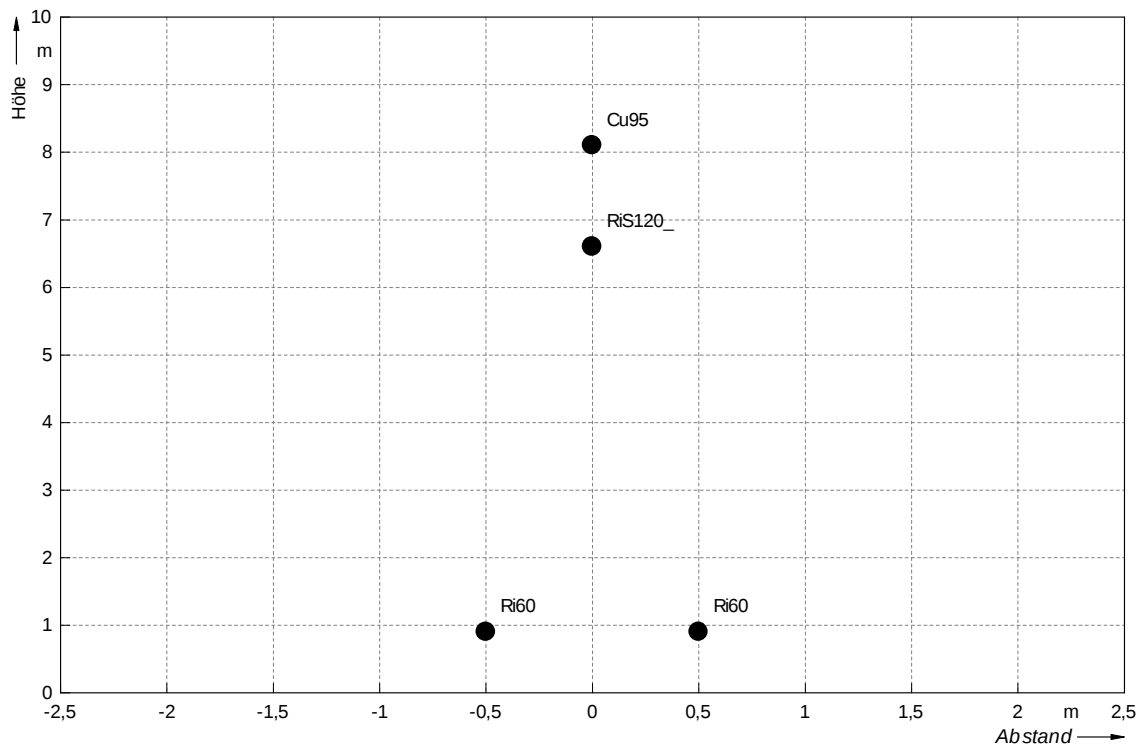


Abbildung 4-3: Leiteranordnung am Messort 3

4.3 Magnetfeld Isolinienfläche

Koordinatensystem:

Der Referenzpunkt eines XYZ-Koordinatensystems wurde wie folgt definiert:

- Eingleisige Streckenabschnitte:
 - o Horizontal: Schienenoberkante minus 1 m
 - o Vertikale: Gleismitte
- Zweigleisige Streckenabschnitte:
 - o Horizontal: Schienenoberkante minus 1 m
 - o Vertikale: Trassenmitte (bei halbem Gleismittenabstand)

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 11 von 23
---	--	--	-----------------------

5 Berechnungen

5.1 Allgemein

Für die Sicherheit von Personen im elektromagnetischen Feld werden die von der ICNIRP und der WHO genannten Grenzwerte allgemein anerkannt. Es gelten unterschiedliche Grenzwerte für Kurzzeitbeeinflussung und Langzeitbeeinflussung, die auch als Grenzwerte für Arbeitnehmer und Grenzwerte für die Bevölkerung bezeichnet werden.

Die ICNIRP Richtlinie [2] wurde ohne Änderungen in europäische Regelungen [3] und [4] übernommen. Obwohl es sich bei [3] um eine unverbindliche Empfehlung handelt wird sie dennoch bei Rechtsstreitigkeiten herangezogen. Die Grenzwerte dieser Empfehlung wurden darüber hinaus in nationale Regelungen wie die 26. Bundes-Immissionsschutzverordnung [1] übernommen.

Die Grenzwerte der Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind Vorsorgewerte. Im Niederfrequenzbereich ist ein Basiswert für die Körperstromdichte von 10 mA/m² anerkannt, weil er im Bereich der natürlichen Körperstromdichte liegt und keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit nachgewiesen sind. Anhand dieses Basiswertes leiten die ICNIRP/WHO-Empfehlungen zulässige Werte der magnetischen Flussdichte ab und versehen sie mit einem Vorsorgefaktor. Die ICNIRP/WHO-Empfehlungen unterscheiden zwischen *occupational*, Bereich 1, für Personengruppen mit beruflicher Exposition und *general public*, Bereich 2, für die allgemeine Bevölkerung. Zusätzlich werden Werte angegeben, bei denen keine Störungen von Herzschrittmachern zu erwarten sind.

Zur Bewertung elektromagnetischer Felder ist in Deutschland das Bundes-Immissionsschutzgesetz mit der 26. BImSchV [1] maßgeblich.

In Bezug auf Gleichfelder gelten die Grenzwerte der 26. BImSchV nur für Anlagen > 2 000 V DC. Sie sind somit für Fahrstromanlagen einer Straßenbahn mit einer Nennspannung von 600 V DC nicht anwendbar.

Jedoch empfiehlt der Rat der Europäischen Union [3] einen Basisgrenzwert von 400 mT. Dieser Wert gilt insbesondere für die relevanten Bereiche, in denen sich Einzelpersonen für eine erhebliche Zeit aufhalten, aber nicht für den Schutz von Arbeitnehmern am Arbeitsplatz.

Desweiteren nennt die RICHTLINIE 2013/35/EU [4] ausschließlich für berufliche Exposition eine Auslöseschwelle von 0,5 mT für medizinische Implantate.

Die in Deutschland gültigen Regeln der gesetzlichen Unfallversicherer DGUV [5] unterscheiden zwei Expositionsbereiche. Die zulässigen Werte von 67,9 mT bei DC für Expositionsbereich 1 orientieren sich am Konzept der Vermeidung von Gefährdungen unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren. Es sind Effekte berücksichtigt, wie Reizung von Sinnesorganen, Nerven- und Muskelzellen, Beeinflussung der Herzaktion und Wärmeeffekte. Die Werte gelten längstens für eine Arbeitsschicht.

Für den Expositionsbereich 2 gelten Werte von 21,22 mT bei DC, die auf Grund der allgemeinen Zugänglichkeit und zur Vermeidung möglicher Belästigungen zusätzliche Sicherheitsfaktoren berücksichtigen.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 12 von 23
---	--	--	-----------------------

Die Grenzwerte für magnetische Gleich- und Wechselfelder den genannten Gesetzen und Empfehlungen sind in Tabelle 5-1 und Tabelle 5-2 aufgelistet.

	Magnetische Flussdichte B bei DC	Bemerkung
Empfehlungen ICNIRP	2 T	Vorsorgewerte für berufliche Exposition
	400 mT	Vorsorgewerte für Allgemeinheit
26. BImSchV	-	nur für Anlagen > 2kV DC anwendbar
RICHTLINIE 2013/35/EU	2 T	ausschließlich berufliche Exposition bei normalen Arbeitsbedingungen
DGUV Regel Expositionsbereich 1 Expositionsbereich 2	67,9 mT 21,22 mT	ausschließlich berufliche Exposition

Tabelle 5-1: Grenzwerte des magnetischen Feldes für die Exposition von Personen

Grenzwerte für Herz- schrittmacher	Magnetische Induktion DC
Empfehlungen ICNIRP	0,5 mT (für DC)
26. BImSchV	-
RICHTLINIE 2013/35/EU (ausschließlich berufliche Exposition)	Auslöseschwelle 0,5 mT (für DC)
DGUV Regel	0,7 mT

Tabelle 5-2: Grenzwerte des magnetischen Feldes für Herzschrittmacher

5.2 SITRAS®-Sidytrac: Magnetfeld Funktion

Das *magnetische Feld* elektrischer Leitungen entsteht durch einen Stromfluss. Die magnetischen Feldlinien umschließen den stromdurchflossenen Leiter. Man bezeichnet diese Feldart daher als Wirbelfeld.

Die *magnetische Feldstärke* H wird in A/m angegeben und ist unabhängig von Materialeigenschaften. Dagegen beschreibt die magnetische Flussdichte B , häufig auch magnetische Induktion genannt, die Wirkung des magnetischen Feldes in Materialien und Medien. Sie hat die Einheit 1 Tesla = 1 Vs/m². Die Umrechnung erfolgt über

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad \text{mit } \mu_0 = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am.}$$

Da in Luft die relative Permeabilität $\mu_r = 1$ ist, gelten dort folgende Umrechnung:

- Die magnetische Feldstärke $H = 1 \text{ A/m}$ entspricht der magnetischen Flussdichte $B \approx 1,26 \text{ } \mu\text{T}$ und
- die Flussdichte $B = 1 \text{ T}$ entspricht der Feldstärke $H \approx 0,80 \text{ A/m}$.

Schrifttum und selbst Normen und Empfehlungen verfahren unterschiedlich, geben also teils Feldstärken und teils Flussdichten an. In der vorliegenden Arbeit sind zur besseren Vergleichbarkeit alle Einzelangaben, Diagramme und Tabellen auf die Flussdichte B umgerechnet, im Text wird jedoch der Einfachheit halber vom Magnetfeld und der Feldstärke gesprochen. Alle angegebenen Zahlen für B bedeuten Effektivwerte.

Das natürliche magnetische Gleichfeld der Erde hängt vom Breitengrad ab und beträgt in mitteleuropäischen Breiten rd. 48 μT . Es schwankt geringfügig aufgrund von Änderungen in der Atmosphäre und im Erdinneren.

Technische magnetische Felder hängen vom Leiterstrom, von der Leiteranordnung vom Abstand zu den stromführenden Leitern ab. Hohe Gleichfelder von 0,5T werden in der medizinischen Diagnose in Kernspintomographen erzeugt. Bei elektrischen Bahnen sind unter der Oberleitung Feldstärken bis zu 100 μT zu erwarten.

Mit der Magnetfeld Funktion des Programm SITRAS®- Sidytrac werden elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Fahrleitungsanlagen berechnet. Das Ergebnis ist von der geometrischen Anordnung, den Spannungen und Strömen in den einzelnen Leitern abhängig. Die Spannungs- und Stromwerte werden aus der Lastflussberechnung von SITRAS®- Sidytrac übernommen.

Die berechneten Werte können entlang einer Aufpunktgerade oder als Isoliniendiagramm ausgegeben werden.

Die Übereinstimmung der Ergebnisse mit Messwerten an realen Systemen ist durch Untersuchungen verifiziert.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 14 von 23
---	--	--	-----------------------

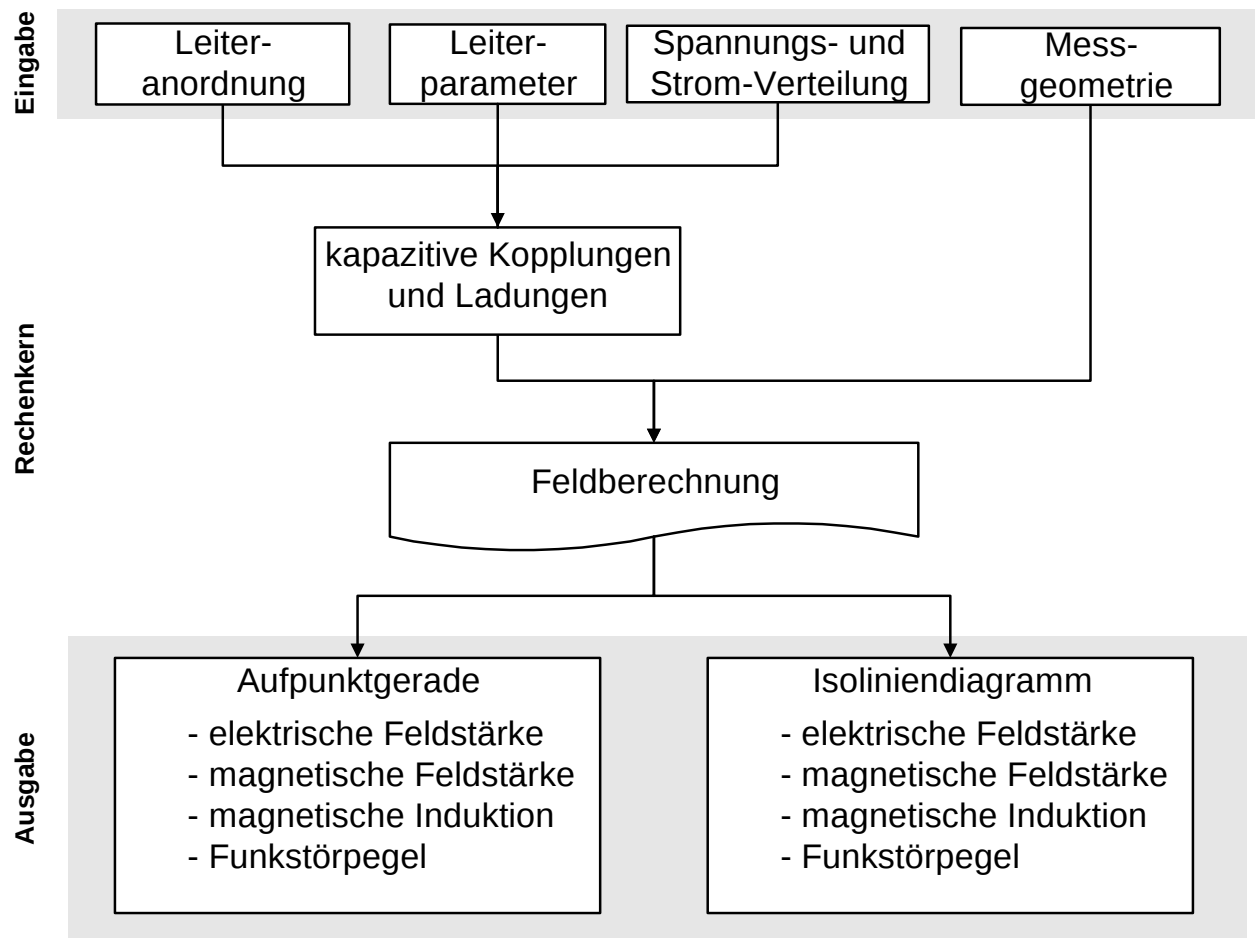


Bild 5-1: Struktur der Magnetfeld Funktion von SITRAS®-Sidytrac

5.3 Rechenmodell

Die Modellierung der Oberleitungsanlage erfolgt durch Eingabe aller Leiter und der Leitergeometrie (Lage der Leiter im Raum) in das Simulationsprogramm SITRAS® Sidytrac. Dabei wird jeder Leiter als Polygonzug nachgebildet. Die von den einzelnen Leitersegmenten verursachten Magnetfelder werden vektoriell im dreidimensionalen Raum überlagert.

Die Übereinstimmung des Rechenmodells mit der Realität wurde mit einer vergleichenden Rechnung und Messung an Oberleitungsanlagen nachgewiesen.

Eine mögliche Dämpfung des Magnetfelds durch bauliche Anlagen in der Umgebung ist nicht berücksichtigt.

5.4 Varianten

Die Örtlichkeit der drei Messstandorte sind in der Anlage 1 ersichtlich. Die magnetische Feldstärke wurde an folgenden Orten berechnet:

DC Magnetfeld 1:

Ort: Augsburg-West / Bürgermeister Ackermann Straße (Haltestelle Augsburg West; hinter der Weiche zur Wendeschleife, Linie 5 in Richtung Hauptbahnhof)

Besonderheit: Ort mit den höchsten Fahrströmen im Verlauf der Linie 5, da Überlagerung mit Linie 2 und direkt vor Einspeisestelle GUW BS (Boschstraße) wie in Abbildung 5-1 und Anlage 2 dargestellt. Dabei zeigt die rote Kurve den maximalen Strom durch die Oberleitung des Gleis 1 und die blaue Kurve den des Gleis 2. Die vertikale grüne Linie zeigt den Messort 1 mit dem zugehörigen Stromwerten für Gleis 1 und 2

Betriebszustand: Kompletter Ausfall Gleichstromunterwerk KH (Kriegshaber)

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 16 von 23
---	--	--	-----------------------

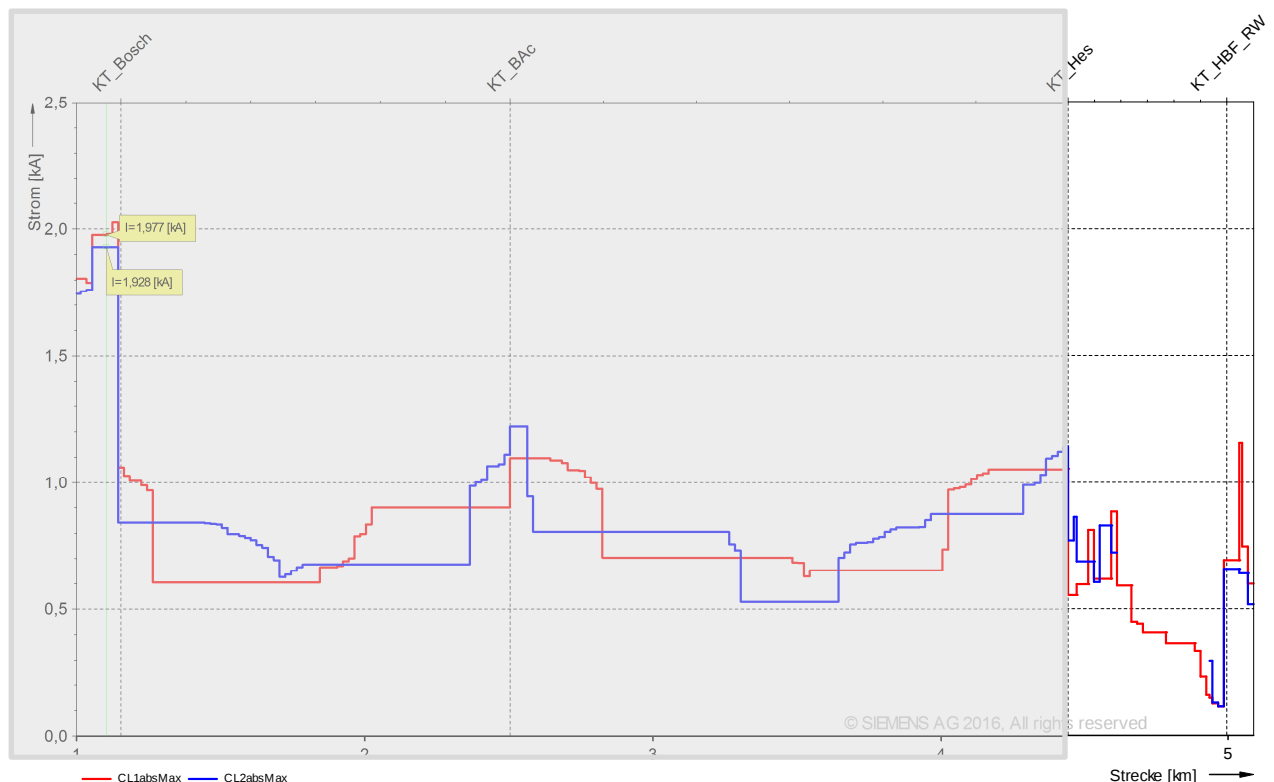


Abbildung 5-1: Maximale Strombelastung bei Ausfall KH

DC Magnetfeld 2:

Ort: Holzbachstraße / Luitpoldbrücke (Ausfädelung der stadtauswärtigen Linie 5 aus der gemeinsamen Trasse mit der Linie 3 in der Pferseer Str vor der neuen Hst Luitpoldbrücke)

Besonderheit: engerer Gleismittenabstand Beschleunigung aus Haltestelle

Betriebszustand: Kompletter Ausfall Gleichstromunterwerk LB (Luitpoldbrücke)

DC Magnetfeld 3:

Ort: Perzheimstrasse / Sebastian-Buchegger-Platz (Eingleisiger Streckenabschnitt Perzheimstrasse vor Kurve Einmündung Perzheimstrasse in Sebastian-Buchegger-Platz in Richtung Hauptbahnhof)

Besonderheit: eingleisige Schleife mit größter Annäherung eines Gebäudes von 4,5 m zur Gleismitte

Betriebszustand: Kompletter Ausfall Gleichstromunterwerk LB (Luitpoldbrücke)

Die maximalen Ströme in der Fahrleitung an den Messorten 2 und 3 bei Ausfall des Gleichstromunterwerkes LB sind in Abbildung 5-2 und Anlage 3 dargestellt. Dabei zeigt die rote Kurve den maximalen Strom durch die Oberleitung des Gleis 1 und die blaue Kurve den des Gleis 2. Die vertikalen grünen Linien zeigt die Messorte 2 und 3 mit den zugehörigen Stromwerten für Gleis 1 und 2

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 17 von 23
---	--	--	-----------------------

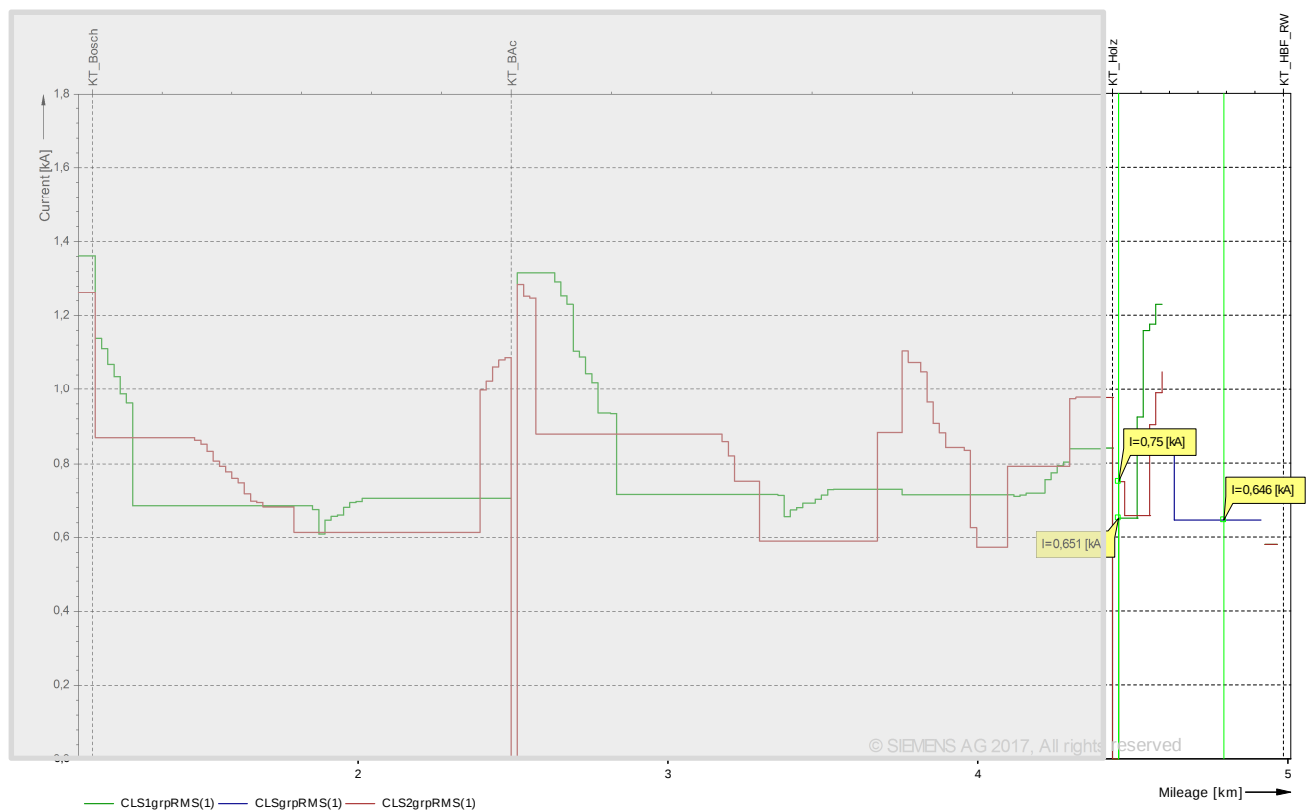


Abbildung 5-2: Maximale Strombelastung bei Ausfall LB

Der jeweilige Betriebszustand entspricht einem Lastzustand wie er nur in den seltenen Fällen eines Ausfalls / Abschaltung der jeweils genannten Gleichstromunterwerke (GUW) auftritt. Die berücksichtigten Ströme entsprechen den an den jeweiligen Orten auftretenden absoluten Spitzenströmen. Bei normal Schaltzustand und allen GUW's in Betrieb fallen die auftretenden Spitzenströme entsprechend geringer aus.

Mit Ausnahme der Messorte 2 und 3 können die Ergebnisse des Messortes 1 für die Bewertung des gesamten Abschnittes Wendeschleife 5 bis Ende Thelottviertel herangezogen werden, da im Messort 1 die höchsten zu erwartenden Fahrleitungsströme auftreten bei gleicher Fahrleitungsgeometrie und somit auch die größten Magnetfelder. Die Messorte 2 und 3 wurden aufgrund der besonderen Annäherung von Wohngebäuden gewählt bei dabei deutlich kleineren Fahrleitungsströmen in diesem Bereich aufgrund des Abstandes zum nächsten GUW. In diesem Abschnitt sind folglich eher kleinere Werte zu erwarten.

In Realität schwanken die Fahrströme ständig. Die Mittelwerte liegen deutlich unter den Spitzenwerten. Die Magnetfelder sind linear vom Strom abhängig und können entsprechend umgerechnet werden $B \sim I$.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 18 von 23
---	--	--	-----------------------

6 Ergebnisse

6.1 Allgemeines

Die magnetische Flussdichte ist quer zur Oberleitungsanlage von 1 m unter Schienenoberkante (SOK) bis in eine Höhe von 14 m über SOK berechnet.

Die Ergebnisse für das magnetische Gleichfeld (Flussdichte B in μT) sind in Anlage 1- 3 dargestellt.

6.2 Magnetfeld

Die berechneten Ergebnisse zeigen für:

6.2.1 DC Magnetfeld Ort 1 (Anlage 4):

Ein Magnetfeld von maximal $1000 \mu\text{T}$ tritt nur unmittelbar um den rechten Fahrdraht auf und der Wert von $500 \mu\text{T}$ ($= 0,5 \text{ mT}$) wird ab einem Abstand von ca. $0,5 \text{ m}$ von den Leitern bereits unterschritten.

6.2.2 DC Magnetfeld Ort 2 (Anlage 5):

Ein Magnetfeld von maximal $1000 \mu\text{T}$ tritt nur unmittelbar um den linken Fahrdraht auf. Der Wert von $500 \mu\text{T}$ ($= 0,5 \text{ mT}$) tritt nur um die Fahrdrähte, die Tragseile und die Schienen auf. Damit wird die Auslöseschwelle für Herzschrittmacher von $0,5 \text{ mT}$ nur in diesen Bereichen überschritten. Ab einem Abstand von weniger als $0,5 \text{ m}$ von den Leitern wird der Wert von $500 \mu\text{T}$ ($= 0,5 \text{ mT}$) bereits unterschritten.

6.2.3 DC Magnetfeld Ort 3 (Anlage 6):

Ein Magnetfeld von maximal $500 \mu\text{T}$ tritt nur unmittelbar um die Fahrdrähte und die Gleise auf, und damit wird die Auslöseschwelle für Herzschrittmacher von $0,5 \text{ mT}$ nicht überschritten. Ab einem Abstand von ca. $0,5 \text{ m}$ von den Leitern wird nur noch ein Wert von $200 \mu\text{T}$ erreicht.

Für diesen Messort zeigt die Messlinie in Abbildung 6-1 und Anlage 7 das Magnetfeld entlang der nächsten Gebäudekante ($4,5 \text{ m}$ von Gleismitte entfernt).

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 19 von 23
---	--	--	-----------------------

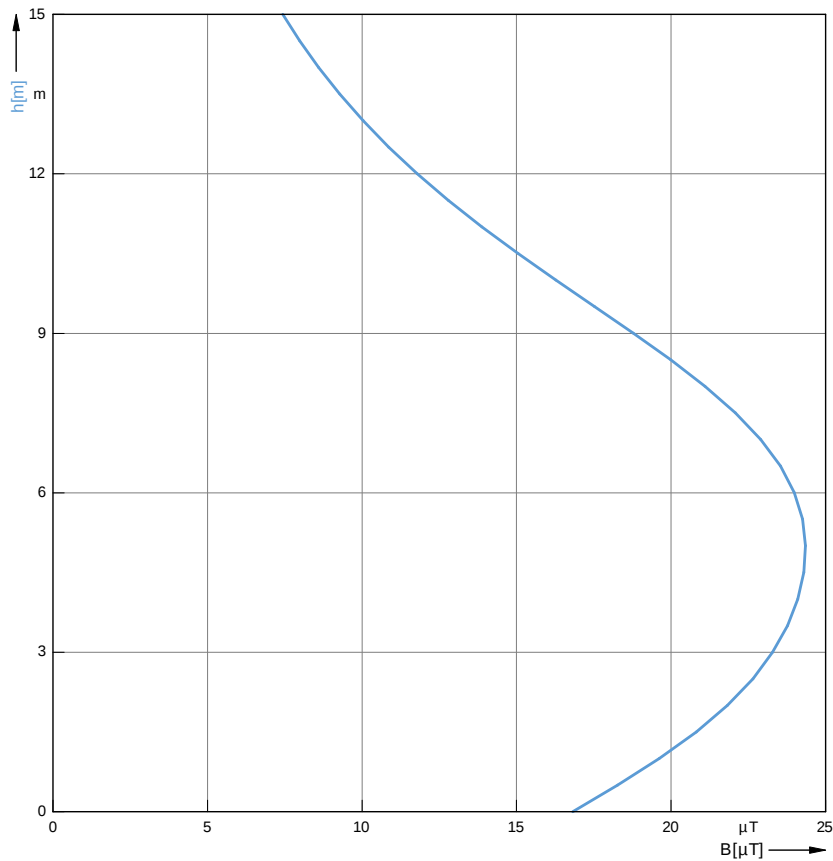


Abbildung 6-1: Messgerade an Gebäudekante am Messort 3

7 Bewertung

Die Werte liegen weit unterhalb der zulässigen Grenzen von 400 mT für das DC Feld anhand der Empfehlungen ICNIRP.

Sie liegen auch unterhalb der Auslöseschwelle für Herzschrittmacher von 0,5mT ab einem Abstand von 0,5 m zu den Leitern.

Diese Werte sind informativ und unbewertet bezüglich der 26. BImSchV, da Anlagen der Bahnstromversorgung mit Nennspannungen unter 2000 V DC nicht in den Anwendungsbereich der 26. BImSchV bzgl. Gleichstromanlagen fallen. Sie zeigen jedoch, dass auch für Allgemeinbevölkerung mit und ohne Implantate keine Gesundheitsgefährdung besteht.

Damit kann festgestellt werden, dass von der Oberleitungsanlage, im Rahmen der zugrunde gelegten Empfehlungen der ICNIRP und der Auslöseschwelle für Herzschrittmacher von 0,5 mT und ab einem Abstand von 0,5 m keine Gefährdung von Personen auf Grund von Magnetfeldern aus geht.

Zusätzlich ist anzumerken, dass die einzuhaltenden Mindestabstände zum Schutz gegen direktes Berühren nach EN 50122-1 (DIN VDE 0115-3) [6] eine derartige Annäherung verbieten. Bei Arbeiten unter Spannung sind die betreffenden Arbeiter entsprechend zu unterweisen bzw. sollten Implantatsträger davon ausgeschlossen werden.

Für Personal, mit medizinischen Implantaten wie Herzschrittmacher, wird generell empfohlen das Arbeiten an und in unmittelbarer Nähe von unter Spannung stehenden Teilen der Stromversorgung- und Fahrstromanlagen entsprechend zu begrenzen.

Zusatzbemerkung: Unter Berücksichtigung gleicher Transportleistung und somit gleicher Traktionsleistungen ist bei einer möglichen Umstellung von 600 V auf 750 V mit entsprechend niedrigeren Fahrströmen zu rechnen und damit auch niedrigeren Magnetfeldern. Eine Neuberechnung und Neubewertung der Magnetfelder ist in diesem Zusammenhang nicht erforderlich.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 21 von 23
---	--	--	-----------------------

8 Zusammenfassung

In Augsburg wird im Rahmen der Mobilitätsdrehscheibe eine neue Straßenbahntrasse, die von der Straßenbahn-Linie 5 befahren werden soll errichtet. Dazu gehört auch eine Oberleitungsanlage zur Führung des Fahrstroms.

Der in der Oberleitungsanlage geführte DC-Fahrstrom erzeugt ein Magnetfeld, das in diesem Bericht hinsichtlich seiner mögliche Gefährdung von Personen untersucht wird.

Die Berechnung der Magnetfelder, unter Berücksichtigung selten auftretender Unterwerksausfälle, und der dabei kurzzeitig (nur für Sekunden) auftretenden Höchstwerte des Fahrstroms in der Oberleitungsanlage, wird nur im direkten Umfeld der Stromführenden Leiter die Ansprechschwelle von Herzschrittmachern von 0,5 mT erreicht.

Allerdings sind die berechneten Magnetfelder ab einem Abstand von 0,5 m vom Leiter sicher unterhalb der Ansprechschwelle von Herzschrittmachern von 0,5 mT.

Damit kann festgestellt werden, dass von der Oberleitungsanlage, im Rahmen der zugrunde gelegten Auslöseschwelle für Herzschrittmacher von 0,5 mT und ab einem Abstand von 0,5 m keine Gefährdung von Personen auf Grund von Magnetfeldern aus geht.

Die einzuhaltenden Mindestabstände zum Schutz gegen direktes Berühren nach EN 50122-1 (DIN VDE 0115-3) verbieten eine derartige Annäherung. Bei Arbeiten unter Spannung sind die betreffenden Arbeiter entsprechend zu unterweisen bzw. sollten Implantatsträger davon ausgeschlossen werden.

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 22 von 23
---	--	--	-----------------------

9 Anlagen

9.1 Anlage 1

Seite 1: Streckenübersicht mit markierten Berechnungsorten der Magnetfelder.

9.2 Anlage 2

Seite 1: Maximale Strombelastung der Oberleitungen bei Ausfall KH

9.3 Anlage 3

Seite 1: Maximale Strombelastung der Oberleitungen bei Ausfall LB

9.4 Anlage 4

Seite 1: DC Magnetfeld 1 (Augsburg-West / Bürgermeister Ackermann Straße)

9.5 Anlage 5

Seite 1: DC Magnetfeld 2 (Holzbachstraße / Luitpoldbrücke)

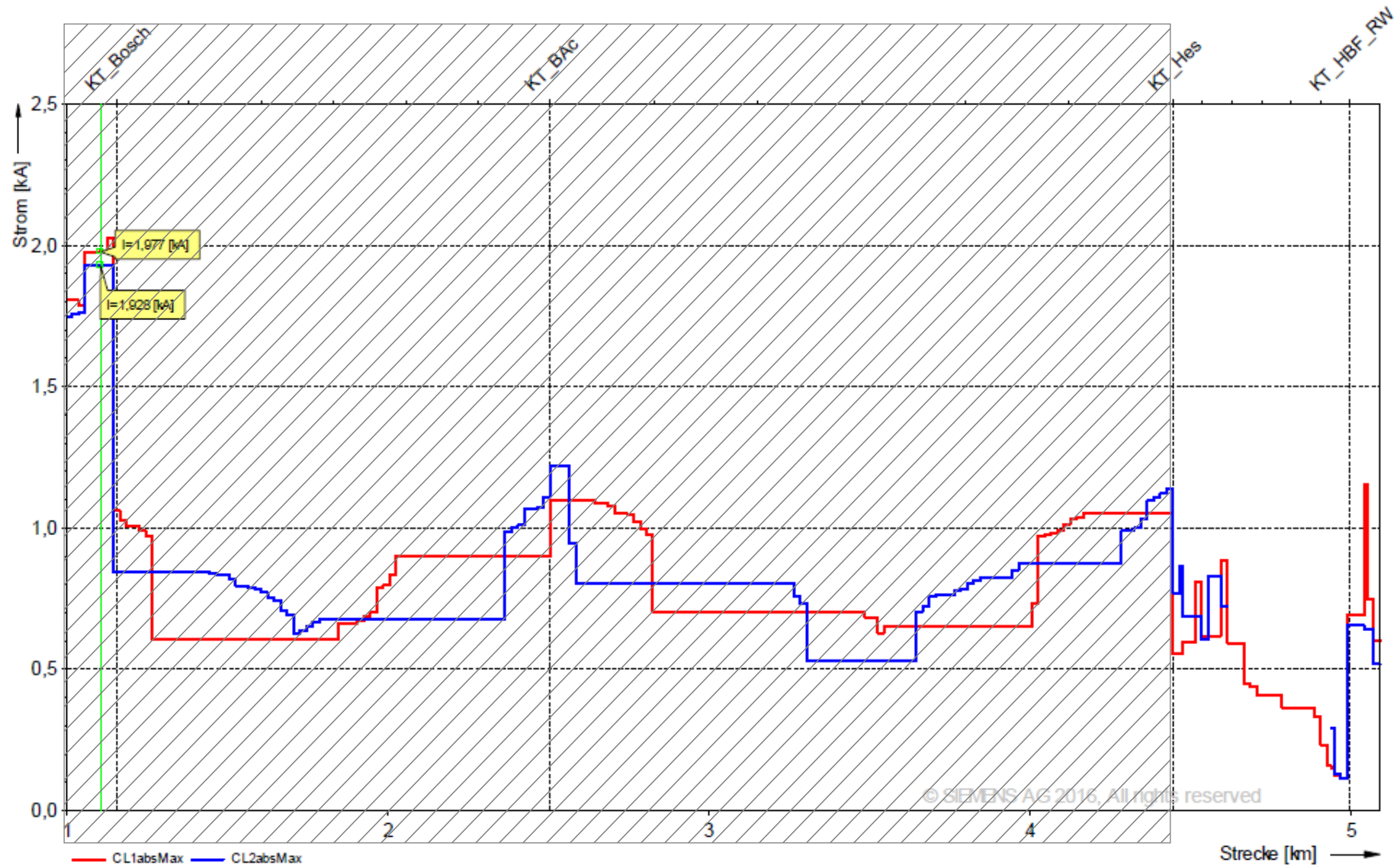
9.6 Anlage 6

Seite 1: DC Magnetfeld 3 (Perzheimstrasse / Sebastian-Buchegger-Platz)

9.7 Anlage 7

Seite 1: DC Magnetfeld 3 - vertikale Messgerade entlang Gebäudekante in 4,5 m Abstand zur Gleismitte

Technischer Bericht Stadtwerke Augsburg Magnetfeldberechnung/EMV Gutachten V2.0	MO TPE RE EN&OP SE 24.11.2017; C_Unrestricted	Dokument Nr.: MOTPEREENOPSE/815/R/006/STS/WB C:\Users\si\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\UHJCNXAV\006r815V2_Magnetfeld berechnung_PFV geteilt_02-2019.docx	Seite 23 von 23
--	--	--	-----------------------



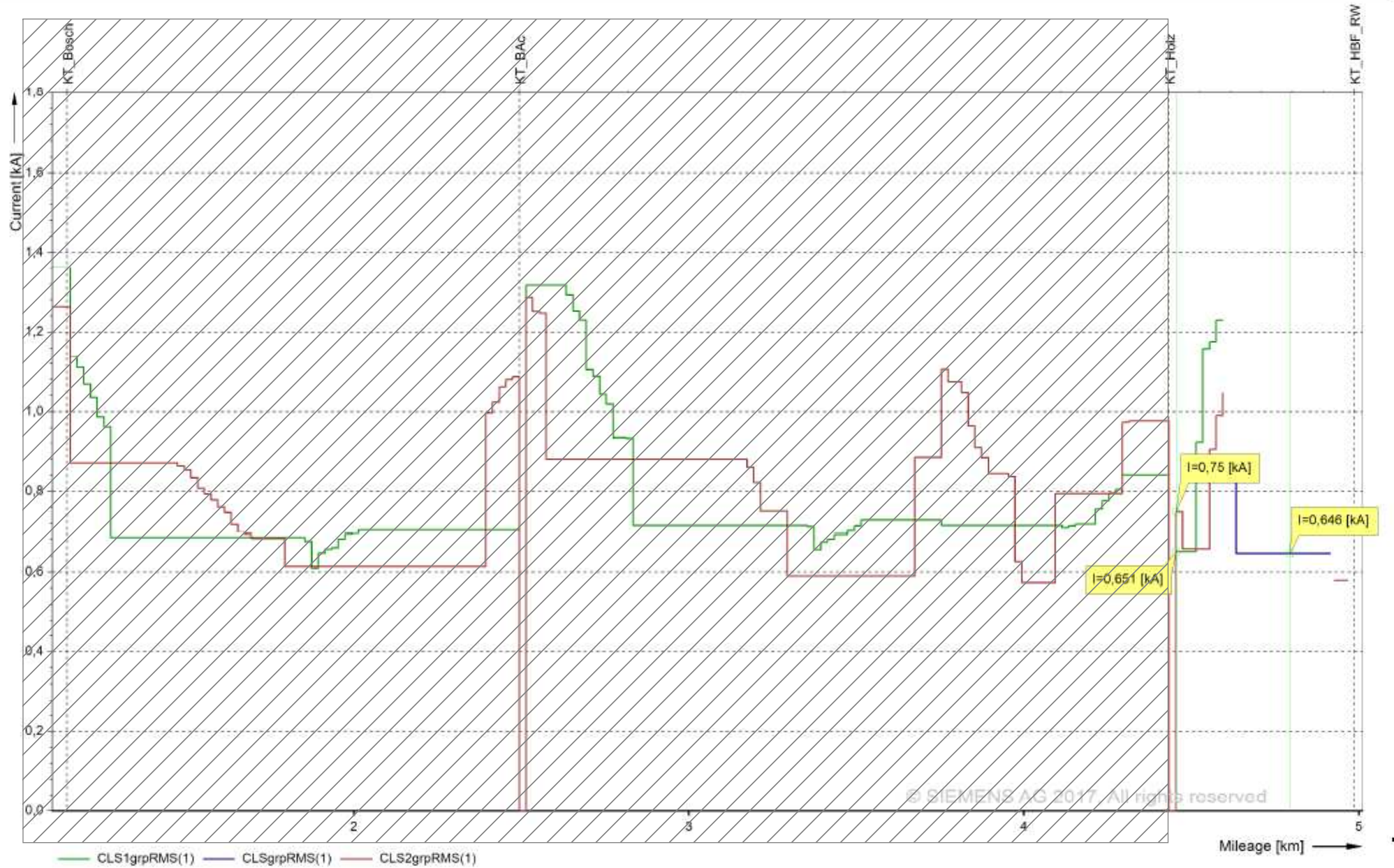
Maximale Ströme in der Oberleitung Linie 5: rot Gleis 1, blau Gleis 2

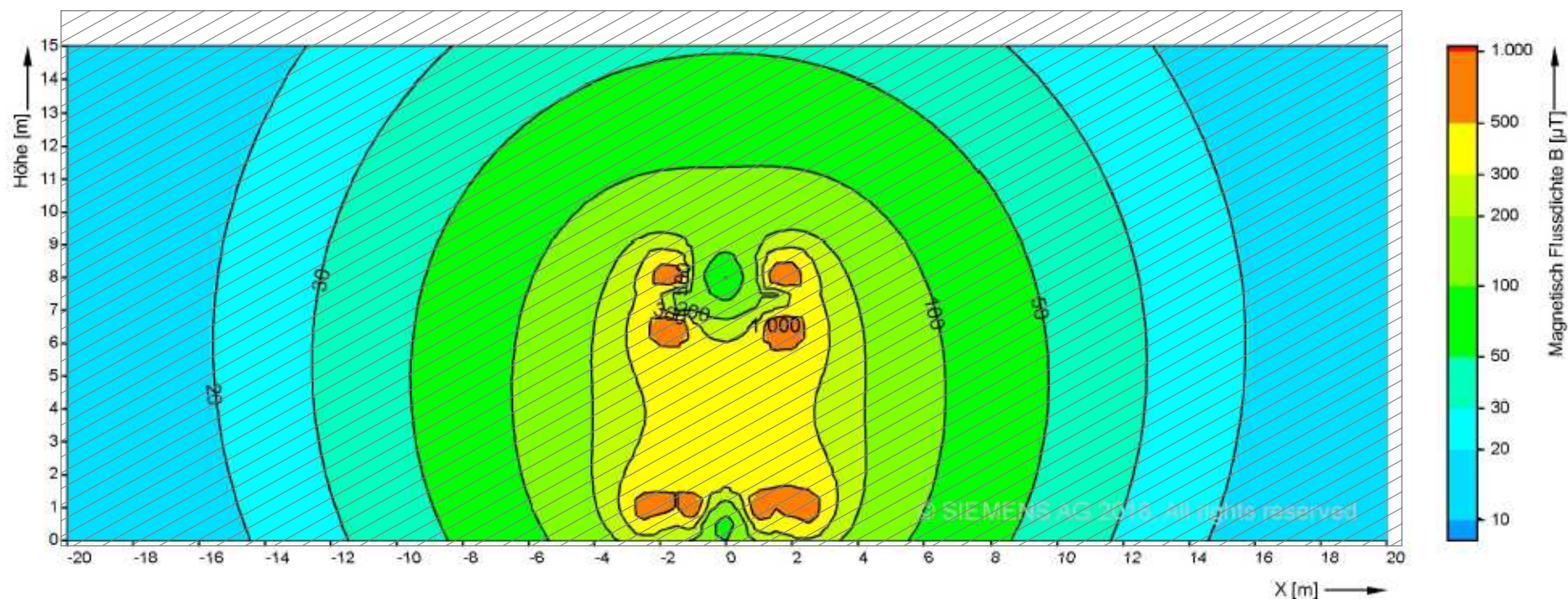
Ausfall GUW KH Kriegshaber

Anlage 2, Blatt 1 von 1

MO TPE RE EN&OP SE/815.006V2

24.11.2017





DC Magnetfeld 1: Quer zur Trasse in μT

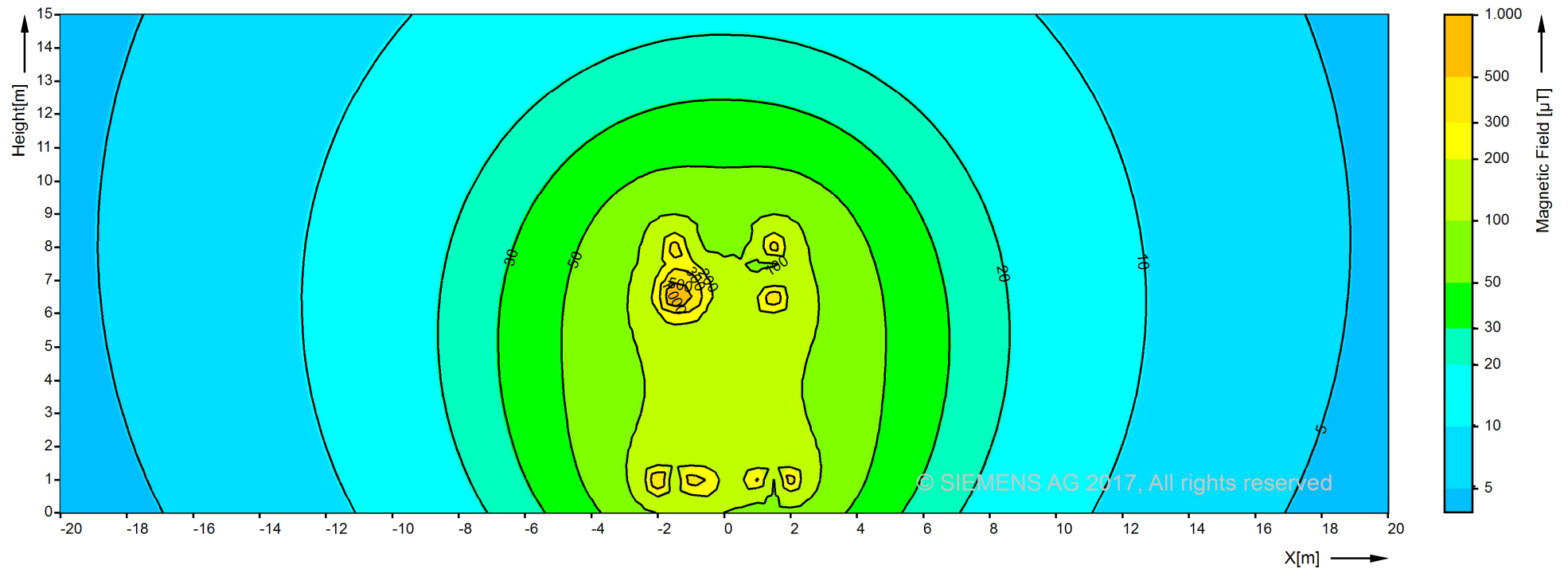
Ort: Augsburg-West / Bürgermeister Ackermann Straße

Blickrichtung: Richtung Hbf.

Anlage 4, Blatt 1 von 1

MO TPE RE EN&OP SE/815.006V2

24.11.2017



DC Magnetfeld 2: Quer zur Trasse in μT

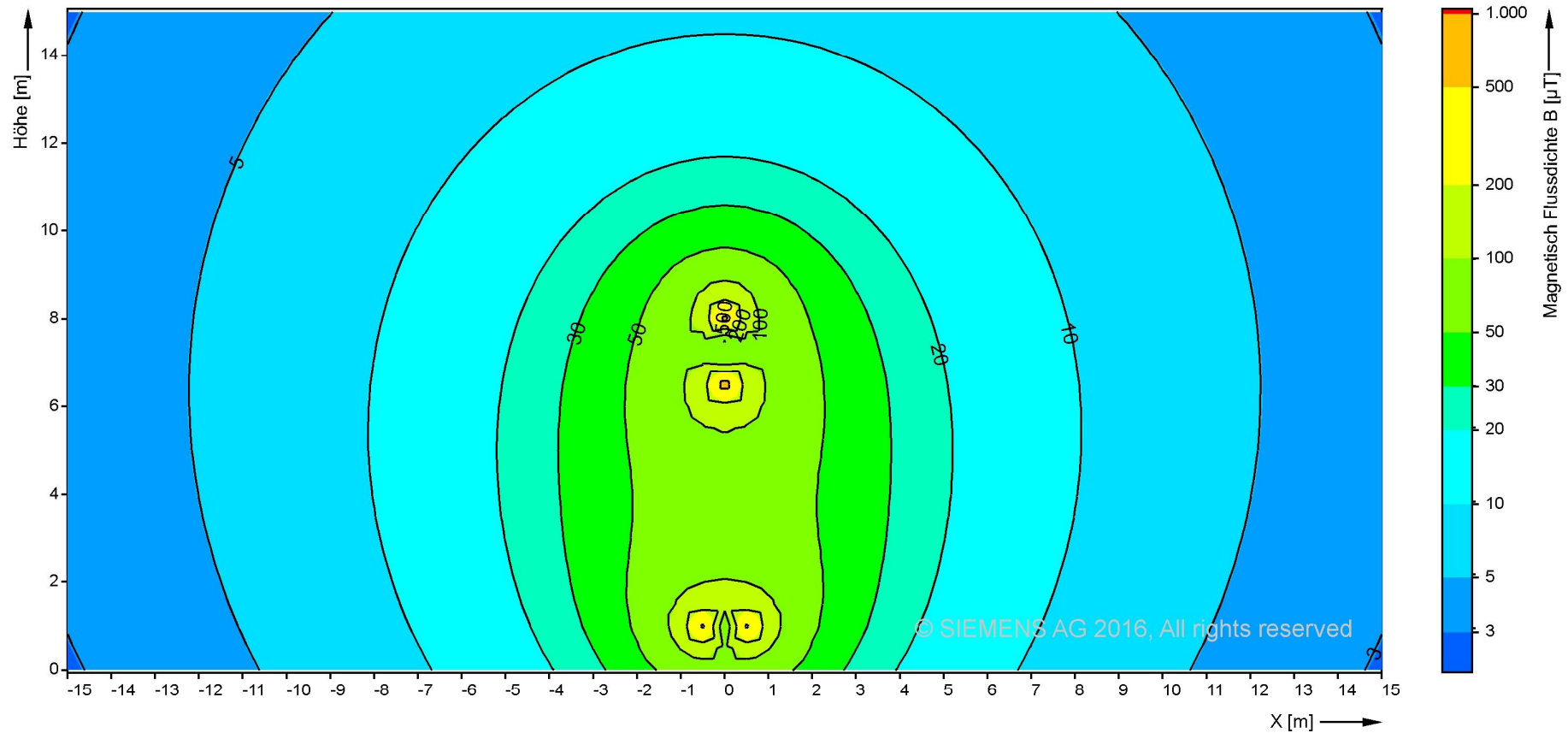
Ort: Holzbachstraße / Luitpoldbrücke

Blickrichtung: Richtung Hbf.

Anlage 5, Blatt 1 von 1

MO TPE RE EN&OP SE/815.006V2

24.11.2017



DC Magnetfeld 3: Quer zur Trasse in µT

Ort: Perzheimstraße / Sebastian-Buchegger-Platz

Blickrichtung: Richtung Hbf.

Anlage 3, Blatt 1 von 1

MO TPE RE EN&OP SE/815.006V2

24.11.2017

