



Elektrifizierung Meran-Mals

Berechnungen elektromagnetischer Felder

ECH-344.01-001
Version 1.0

Auftraggeber:

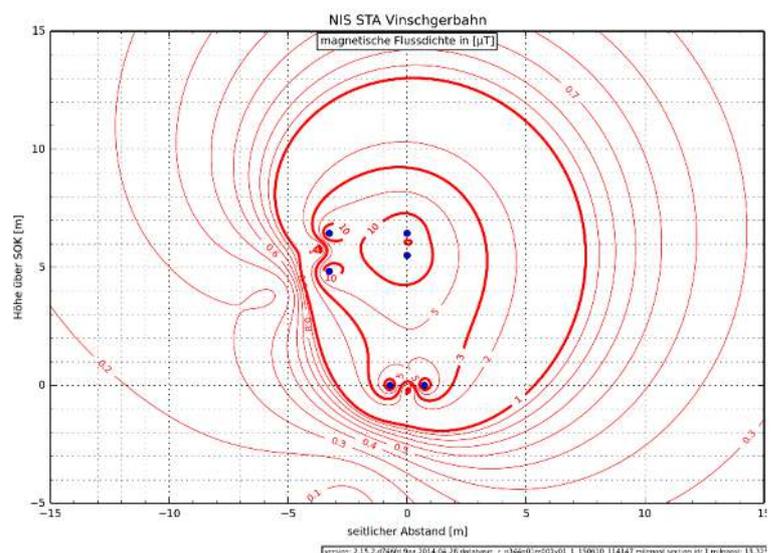
Südtiroler Transportstrukturen AG
Gerbergasse 60
39100 Bozen I
Italia

Herausgeber:

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 (0)33 346 66 11
Fax +41 (0)33 346 66 12
e-mail: info@enotrac.com
www.enotrac.com

Freigegeben
14.08.2015

ECH-344.01-001.V1.0.STA_NIS_Meran_Mals.docx
© ENOTRAC AG



version: 2.15.2.0/4460/Rev 2014 04 26 autor: r_334401.m03/v01_1_150910_114147/magfeld_vincen.sta I m.kasper: 11.12'

Aktuelle Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1.0	14.08.2015	Freigegeben	P. Boss	S. Nydegger	H. Voegeli

Vorherige Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Änderungen seit der vorherigen Version

Urheberrecht

Dieses Dokument wurde durch ENOTRAC AG im Auftrag des Kunden erarbeitet. Für das Dokument und den darin dargestellten Gegenstand erhält der Kunde das Nutzungsrecht. Die Urheberrechte liegen bei ENOTRAC AG. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts über die vorgesehene Nutzung hinaus sind ohne schriftliche Zustimmung verboten.
© ENOTRAC AG

Bookmarks

Projekttitlel	ProjTitle1	Elektrifizierung Meran-Mals
	ProjTitle2	
Berichttitlel	DocTitle1	Berechnungen elektromagnetischer Felder
	DocTitle2	
	DocTitle3	
Berichtnummer	DocNumber	ECH-344.01-001
Auftraggeber	ClientName	Südtiroler Transportstrukturen AG
	ClientAddr	Gerbergasse 60 39100 Bozen I Italia
Logos	EnoLogoHeader	
	ClientLogo1Header	
	ClientLogo2Header	
Kontakt	Contact	Pascal Boss, Tel. +41 (0)33 346 66 17
	Contact_Mail	pascal.boss@enotrac.com

Inhalt:

1	Einleitung, Zusammenfassung	5
1.1	Ausgangslage	5
1.2	Aufgabenstellung / Vorgehen	6
1.3	Zusammenfassung	7
1.4	Verwendete Abk�rzigungen	9
2	Beurteilungsgrundlagen	10
2.1	Emissions- / Anlagegrenzwert	10
2.2	Immissions- / Expositionsgrenzwerte	11
2.3	Typische Querprofile	13
2.3.1	Querprofil 1 – Offene Einspurstrecke	13
2.3.2	Querprofil 2 – Haltestelle mit breiter Plattform	14
2.3.3	Querprofil 3 – Haltestelle mit schmaler Plattform	14
2.3.4	Querprofil 4 – Station mit mittigem Mast Typ A	15
2.3.5	Querprofil 5 – Station mit mittigem Mast Typ B	15
2.3.6	Querprofil 6 – Station mit seitlichem Mast Typ A	16
2.3.7	Querprofil 7 – Station mit seitlichem Mast Typ B	16
2.3.8	Querprofil 8 – Station mit seitlichem Mast Typ C	17
2.3.9	Speiseleitungen Unterwerk – Bahnstrecke	17
3	Software – Werkzeuge	19
3.1	SIMNET	19
3.2	EMFCALC	20
4	Modellierung der 25 kV Anlage	21
4.1	Aufbau des Modells	21
4.2	Erdung	21
4.3	Leitereigenschaften	21
5	Strom zur Beurteilung des Anlagegrenzwerts	22
5.1	Strom in Fahrleitungen und Speiseleitungen	22
5.2	Strom in der Fahrleitung von Nebengleisen	24
5.3	Strom im R�ckleitungssystem	25
6	Strom zur Berechnung der Immissionswerte	26
7	Berechnung der magnetischen Flussdichte	27
7.1	24-Stunden-Werte magnetischer Flussdichte (Emissionen)	27
7.1.1	Querprofil 1	27
7.1.2	Querprofil 1a Laas	28
7.1.3	Querprofil 2	29
7.1.4	Querprofil 3	30
7.1.5	Querprofil 4	31
7.1.6	Querprofil 5	32
7.1.7	Querprofil 6	33
7.1.8	Querprofil 7	34
7.1.9	Querprofil 8	35

Elektrifizierung Meran-Mals
Berechnungen elektromagnetischer Felder

ECH-344.01-001
Version 1.0

7.1.10	Speiseleitung	36
7.2	Magnetische Flussdichte an den OKA (Immissionen)	37
7.2.1	OKA 1	38
7.2.2	OKA 2	39
7.2.3	OKA 3	40
8	Referenzen	41
Anhang 1	In der Schweiz bewilligte Projekte mit NIS-Nachweis	42

1 EINLEITUNG, ZUSAMMENFASSUNG

1.1 Ausgangslage

Die Südtiroler Transportstrukturen AG (STA) plant die Elektrifizierung der Bahnstrecke zwischen Meran und Mals (Vinschgerbahn) mit 25 kV / 50 Hz. Die Bahnstrecke erstreckt sich über rund 60 km und wird im Normalbetrieb künftig von zwei 132/25 kV Bahnstromtransformatoren in Goldrain mit einer Leistung von je 7.2 MVA in zwei Stichen gespeist. Zwischen dem Unterwerk in Goldrain und der Bahnstrecke ist die Installation von Speise- und Rückleitungen in Form von Kabelleitungen geplant.



Abbildung 1-1: Übersicht über die Bahnstrecke Meran - Mals (Quelle: Wikipedia.org)

Zusätzlich sind an den Streckenenden in Meran und Mals Notspeisetransformatoren vorgesehen, die die Strecke bei Komplettausfall des Unterwerks Goldrain speisen können. Die Ströme und Leistungen der Notspeisetransformatoren sind gegenüber jenen des Unterwerks Goldrain bedeutend kleiner. Zudem handelt es sich um Komponenten, welche im Normalbetrieb nicht in Betrieb sind. Daher werden die Speiseleitungen dieser Notspeisepunkte im folgenden Bericht nicht weiter behandelt.

1.2 Aufgabenstellung / Vorgehen

Im Rahmen des Bewilligungsprozesses muss für die geplanten Installationen die Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte bezüglich elektrischer und magnetischer Felder nachgewiesen werden. Der vorliegende Bericht mit der Beilage [8] erbringt diesen Nachweis, fasst die dazu nötigen Grundlagen zusammen, beschreibt die Vorgehensweise und zeigt die Resultate der angestellten Berechnungen zu den Ausdehnungen von magnetischen und elektrischen Feldern.

Bei den Betrachtungen soll grundsätzlich das in Italien gültige Dekret DPCM vom 8. Juli 2003 [1] angewendet werden. Zusätzlich soll aber auch die in der Schweiz gültige Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung NISV [2] mitberücksichtigt werden.

Für die Bestimmung der Belastungswerte entlang der geplanten Anlagen nach den anwendbaren und gültigen Gesetzen wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- 1) In einem ersten Schritt wurden die anwendbaren Beurteilungsgrundlagen zusammengestellt. Dies sind insbesondere die geltenden nationalen Vorschriften und Grenzwerte bezüglich elektromagnetischer Strahlung für Emission (Anlagegrenzwert) und Immission (Expositionsgrenzwert).
- 2) Anschliessend wurden die massgebenden Ströme in den Speiseleitungen, Fahrdr hten und Tragseilen für die Bestimmung der Emissionen als auch der Immissionen hergeleitet:
 - a) Die Herleitung der Ströme in den Speiseleitungen und in den Leitern des Hauptgleises basiert auf von STA zur Verfügung gestellten, berechneten Strombelastungen für das Unterwerk Goldrain (aus Lastberechnungen).
 - b) Die Ströme in den Leitern der Nebengleise wurden anhand von Fahrplan- und Fahrzeugangaben von STA errechnet.
- 3) Die Aufteilung der Rückströme in der Fahrleitungsanlage, in der Erde und in den Rückleiterkabeln der Speiseleitung wurde anhand von SIMNET-Modellen berechnet (Beschreibung des Simulations-Tools SIMNET siehe Kapitel 3). Dazu wurden 8 typische Gleis- und Fahrleitungsanordnungen entlang der Strecke modelliert. Diese Anordnungen basieren auf Angaben von STA.
- 4) Die Leiteranordnung für die Speiseleitungen zwischen dem Unterwerk Goldrain und der Bahnstrecke musste zunächst definiert werden. Die Anordnung hat dabei normative und gesetzliche Anforderungen bezüglich Sicherheit und Stromtragfähigkeit (Leitererw rmung) zu erfüllen. Kabeltyp und -querschnitt wurden dabei von STA vorgegeben.
- 5) Anhand der hergeleiteten Ströme in den Leitern wurde anschliessend für jede typische Fahrleitungsanordnung und für die Speiseleitung die magnetische Flussdichte für Emissionen und für Immissionen (nur ausgewählte Anordnungen) berechnet. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe von EMFCalc nach dem Gesetz von Biot-Savart für unendlich lange Leiter (siehe Kapitel 3).
- 6) Mit Hilfe von EMFCalc wurden die Isolinien der Grenzwerte und die Leiteranordnungen in grafischer Form dargestellt. Aus den Plots ist die horizontale Ausdehnung der Grenzwertkurven ersichtlich.
- 7) Anhand der Ausdehnung der Grenzwertkurven erstellte STA einen Situationsplan [8], in dem die massgebenden Grenzwertkurven entlang der gesamten Bahnstrecke eingezeichnet und die nahestehenden Gebäude ersichtlich sind. Der Plan dient gemeinsam mit vorliegendem Bericht der Nachweisführung zur Einhaltung der elektromagnetischen Kompatibilität gemäss dem Dekret DPCM vom 8. Juli 2003 [1].

1.3 Zusammenfassung

Die für die in Italien liegende Strecke Meran-Mals gültige Gesetzesgrundlage hinsichtlich der Grenzwerte für elektromagnetische Felder von 50 Hz-Anlagen stellt insbesondere das Dekret DPCM vom 8. Juli 2003 [1] dar. Darin wird die Einhaltung folgender Grenzwerte gefordert:

- der Expositionsgrenzwert (Immissionsgrenzwert) von 100 μT Effektivwert der magnetischen Flussdichte sowie
- 5 kV/m Effektivwert der elektrischen Feldstärke,
- generell, somit auch für bestehende Anlagen, der vorsorgliche Emissionsgrenzwert von 10 μT Effektivwert der magnetischen Flussdichte, gemittelt über einen Zeitraum von 24 Stunden für Zonen mit empfindlicher Nutzung (Spielplätze, Kindergarten, Schulen, Wohnräume und Räume mit Aufenthaltsdauer > 4 h pro Tag).
- für neue Anlagen der vorsorgliche Emissionsgrenzwert (Anlagegrenzwert als Qualitätsziel für neue Anlagen) von 3 μT Effektivwert der magnetischen Flussdichte, gemittelt über einen Zeitraum von 24 Stunden für Zonen mit empfindlicher Nutzung (Spielplätze, Kindergarten, Schulen, Wohnräume und Räume mit Aufenthaltsdauer > 4 h pro Tag) und

Da es sich im Projekt ausschliesslich um neue Leitungen handelt, wird vorliegend bezüglich Anlagegrenzwert nur das Qualitätsziel von 3 μT magnetischer Flussdichte für Zonen mit empfindlicher Nutzung betrachtet.

Zudem soll bei der Planung die Schweizerische Verordnung über nichtionisierende Strahlung NISV [2] mitberücksichtigt werden. Diese definiert für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN) einen Anlagegrenzwert von 1 μT Effektivwert magnetischer Flussdichte, gemittelt über einen Zeitraum von 24 Stunden, also einen 3 mal strengeren Grenzwert als in [1]. Als Immissionsgrenzwert gibt die NISV [2], wie in [1] auch, 100 μT Effektivwert der magnetischen Flussdichte vor.

Die Berechnungen der Emissionen (24-Stunden-Werte der magnetischen Flussdichte) ergaben für die typischen Anordnungen die minimal einzuhaltenden Abstände zur Referenzachse (Referenzachse = Mitte des Hauptgleises respektive Mitte des Kabelrohrblocks) gemäss nachfolgender Tabelle 1-1. Dabei ist zu beachten, dass die Werte mit dem Strom bei der Einspeisestelle berechnet wurden (112 A, Ausnahme: 65 A für Querprofil 1a). Da mit zunehmender Entfernung zum Unterwerk der massgebende Strom abnimmt, nimmt auch der effektive Abstand der Feldkurven zur Gleisachse ab. Dies verdeutlicht der Vergleich der Abstände von Querprofil 1 (bei der Einspeisestelle) und Querprofil 1a (bei Laas, ca. 15 km von der Einspeisestelle entfernt).

Querprofil Nr.	Leiteranordnung	Horizontale Ausdehnung (links / rechts) bezogen auf die Referenzachse [m]	
		1 μ T Kurve nach [2]	3 μ T Kurve nach [1]
1	Offene Einspurstrecke	-7.1 / 10.4	-4.5 ¹ / 4.9
1a	Offene Einspurstrecke bei Laas ²	-5.4 / 7.1	-4.0 ¹ / 3.1
2	Haltestelle mit breiter Plattform	-8.3 / 11.0	-6.0 ¹ / 5.0
3	Haltestelle mit schmaler Plattform	-7.6 / 10.7	-5.0 / 5.0
4	Station mit mittigem Mast Typ A	-9.6 / 10.5	-7.2 ³ / 4.9
5	Station mit mittigem Mast Typ B	-10.5 / 9.0	-4.9 / 6.8 ³
6	Station mit seitlichem Mast Typ A	-10.3 / 7.8	-8.7 ¹ / 5.0 ¹
7	Station mit seitlichem Mast Typ B	-8.2 / 11.1	-5.8 ¹ / 9.5 ¹
8	Station mit seitlichem Mast Typ C	-10.7 / 12.1 ³	-9.4 ¹ / 11.5 ³
-	Speiseleitung Unterwerk-Bahnstrecke	-7.0 / 7.0	-2.0 / 2.0

Tabelle 1-1: Horizontale Ausdehnung zur Referenzachse (links / rechts) der Linien konstanter Flussdichte für 1 μ T und 3 μ T für die berechneten Leiteranordnungen

Es ist ersichtlich, dass die Ausdehnung der Felder bei praktisch allen Anordnungen unsymmetrisch ist. Dies liegt am unsymmetrischen Aufbau der Fahrleitungen (siehe hierzu auch die grafische Auswertung in Kapitel 7). Weiter gilt es zu beachten, dass die Anordnung von Haupt- und Nebengleisen nicht in allen Querprofilen gleich ist.

Die Berechnungen ergaben zudem, dass der in [1] als auch in [2] geforderte Immissionsgrenzwert von 100 μ T Effektivwert magnetischer Flussdichte entlang der offenen Strecke und entlang dem Kabelrohrblock der Speiseleitung an allen öffentlich zugänglichen Bereichen problemlos eingehalten wird.

Aufgrund der elektrischen Isolation der Kabel sind zwar hinsichtlich Ber hrungssicherheit (Spannung) für die Kabelaufstiege der Speiseleitung an der Bahnstrecke (bei den Einspeisestellen) keine Minimalabstände oder Abschränkungen erforderlich. Der zulässige Immissionsgrenzwert wird hier jedoch im Radius von max. 1 m um die Leitung überschritten. Daher muss durch bauliche Massnahmen (wie Abschränkung oder Platzierung der Aufstiege in nicht ffentlichem Bereich) dafür gesorgt werden, dass nicht instruierte Personen keinen Zugang zu diesem Bereich haben.

¹ Unmittelbar an FL-Mast

² Vergleichswert mit Strom in Streckenmitte

³ Unmittelbar an Schiene des Nebengleises

1.4 Verwendete Abkürzungen

Begriff	Definition
AGW	Anlagegrenzwert (Definition nach Dekret DPCM [1] sowie NISV [2]), auch Emissionsgrenzwert
ACSR	Aluminium conductor steel reinforced
Cu	Kupfer
DPCM	Decreto del presidente del consiglio dei ministri
IGW	Immissionsgrenzwert (Expositionswert nach Dekret DPCM [1])
NIS	Nichtionisierende Strahlung
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung [1]
OKA	Ort mit kurzzeitigem Aufenthalt gemäss Art. 13, Abs 1 NISV [2]
OMEN	Ort mit empfindlicher Nutzung gemäss Art. 3, Abs. 3 NISV [2]
SOK	Schienenoberkante
Staku	Stahl-Kupfer
UL	Umgehungsleitung

Tabelle 1-2 Tabelle der verwendeten Abkürzungen und Begriffe

2 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

2.1 Emissions- / Anlagegrenzwert

Gemäss DPCM [1] und NISV [2] muss an den OMEN (Orten mit empfindlicher Nutzung) der Anlagegrenzwert von jeder Anlage im massgebenden Betriebszustand (Normalbetrieb) eingehalten werden. Die 25 kV Speise- und Fahrleitungen sowie die Rückleitungen gelten als eine Anlage und sind demnach hinsichtlich Anlagegrenzwert auch als ein System zu bewerten.

Basis für die Beurteilung der Einhaltung des Anlagegrenzwertes ist der feldverursachende, massgebende Strom. Gemäss DPCM [1] ist zur Bestimmung des massgebenden Stroms die Norm CEI 11-60 [5] sowie das Vorgehen gemäss APAT-ARPA [6] zu verwenden. Beide Quellen beziehen sich jedoch ausschliesslich auf Hochspannungs-Übertragungsleitungen, wobei zur Beurteilung der thermische Grenzstrom der Leitungen zu berücksichtigen ist. Insbesondere gilt diese Beurteilungsgrundlage für die ausserhalb des Bahnareals liegende Speiseleitung zwischen dem Unterwerk und der Bahnstrecke.

Direkt für Eisenbahnanlagen anwendbare Normen oder Vorschriften liegen hierzu jedoch keine vor. Die Beurteilung der magnetischen Emissionen anhand von thermischen Grenzstr men ist für Eisenbahnanlagen und insbesondere für die betrachtete Bahnlinie Meran-Mals aus folgenden Gründen nicht zweckmässig:

- Die Leitungen sind für die auftretenden Lasten eher überdimensioniert. Insbesondere die Speisekabel sind für den n-1 Fall ausgelegt.
- Im Bahnsystem können hohe kurzzeitige Spitzenströme auftreten – die Dauerstr me sind im Verhältnis sehr viel kleiner.
- Aufgrund der Betriebspausen auf der Linie Meran-Mals fliessen nachts keine Ströme (während ca. 5 von 24 Stunden).
- In der Speiseleitung fliessen im Normalbetrieb exakt dieselben Ströme wie in der Fahrleitungsanlage in Einspeisungsn he.

Daher wurde zur Bestimmung des massgebenden Stroms für die Fahrleitungen und die Speiseleitung die vom schweizerischen Bundesamt für Umwelt (CH) anerkannte Methodik für NIS-Nachweise in der Schweiz angewandt. Referenzprojekte, bei denen dasselbe Vorgehen angewendet wurde, sind im Anhang 1 aufgelistet.

Dabei bildet sich der massgebende Strom aus dem Betrag des linearen Mittelwerts über 24 h der erwartenden (berechneten) Ströme für jeden Speisepunkt im Unterwerk Goldrain sowie für die Fahrleitungsanlagen der Nebengleise von Haltestellen und Stationen. Die Basisdaten zu den Strömen stammen von STA.

Die Aufteilung der Rückströme in den unterschiedlichen Leitern und Erde wurde mit Hilfe von SIMNET, dem Simulations-Tool der ENOTRAC (siehe auch Kapitel 3.1), berechnet.

Die Emission der magnetischen Flussdichte errechnet sich aus den in Hin- und R ckleitern fliessenden, über 24 Stunden gemittelten Strömen.

2.2 Immissions- / Expositionsgrenzwerte

Die Immissions-, resp. Expositionsgrenzwerte müssen gemäss Art. 3, DPCM [1] und Art. 13, NISV [2] überall eingehalten sein, wo sich Menschen aufhalten können. Sie gelten insbesondere gemäss NISV für Strahlung, die gleichmässig auf den ganzen menschlichen Körper einwirkt.

Um zu beurteilen, ob die geforderten Grenzwerte eingehalten werden, wurden daher die Immissionen an ausgewählten, sogenannten Orten mit kurzzeitigem Aufenthalt (OKA) betrachtet, von denen auszugehen ist, dass bei diesen die Werte am höchsten sind:

OKA 1: Bodenniveau über dem Kabelrohrblock der Streckenspeisung und Speiseleitung.

OKA 2: Bodenniveau bei der Fahrleitungsanlage bei einem Bahnübergang auf offener Einspurstrecke (Querprofil 1).

OKA 3: Bei den Kabelaufstiegen an der Streckenspeisung (2 aktive Speisekabel).

Gemäss DPCM [1] darf der Expositionswert nicht überschritten werden. Es ist jedoch nicht definiert, wo und unter welchen Bedingungen. Gemäss Absatz 4 Art. 14 NISV [1] sind die Immissionswerte für denjenigen Betriebszustand zu ermitteln, bei dem sie am höchsten sind. Es sind dabei alle Strahlung erzeugende Anlagen gemeinsam zu berücksichtigen.

Für die vorliegende Beurteilung wurde für die Ermittlung der massgebenden Strombelastung auf die von STA gelieferten Stromspitzenwerte zurückgegriffen. Dabei wurde derjenige Netzzustand berücksichtigt, bei dem die Ströme, insbesondere in der Speiseleitung, am höchsten sind.

Absatz 1 Art. 3 DPCM [1] definiert Expositionsgrenzwerte für diverse Feldgrssen. Bei einer Frequenz von 50 Hz sind folgende Grenzwerte einzuhalten:

- 5'000 V/m Effektivwert der elektrischen Feldstärke E
- 100 μ T Effektivwert der magnetischen Flussdichte B

Aufgrund der vorgegebenen Sicherheitsabstände von spannungsführenden Leitern zu geerdeten Konstruktionen, zu berührbaren Teilen oder zur Erde, wird bei Fahrleitungen mit einer Nennspannung von 25 kV der vorgeschriebene Grenzwert elektrischer Feldstärke grundsätzlich eingehalten. Dies zeigen die mittels dem Softwaretool FEMM 4.2 generisch durchgeführten Berechnungen für die Fahrleitungsanordnung der offenen Strecke in Abbildung 2-1. In dieser ist ersichtlich, dass eine Feldstärke von mehr als 4'750 V/m (Magenta farbige Fläche) bei einer Fahrleitungsspannung von 27.5 kV (höchste zulässige Dauerspannung gemäss EN 50163) erst ab einer Höhe von ca. 4.2 m ab SOK auftritt. Es bedarf daher keiner weiteren Betrachtungen dazu.

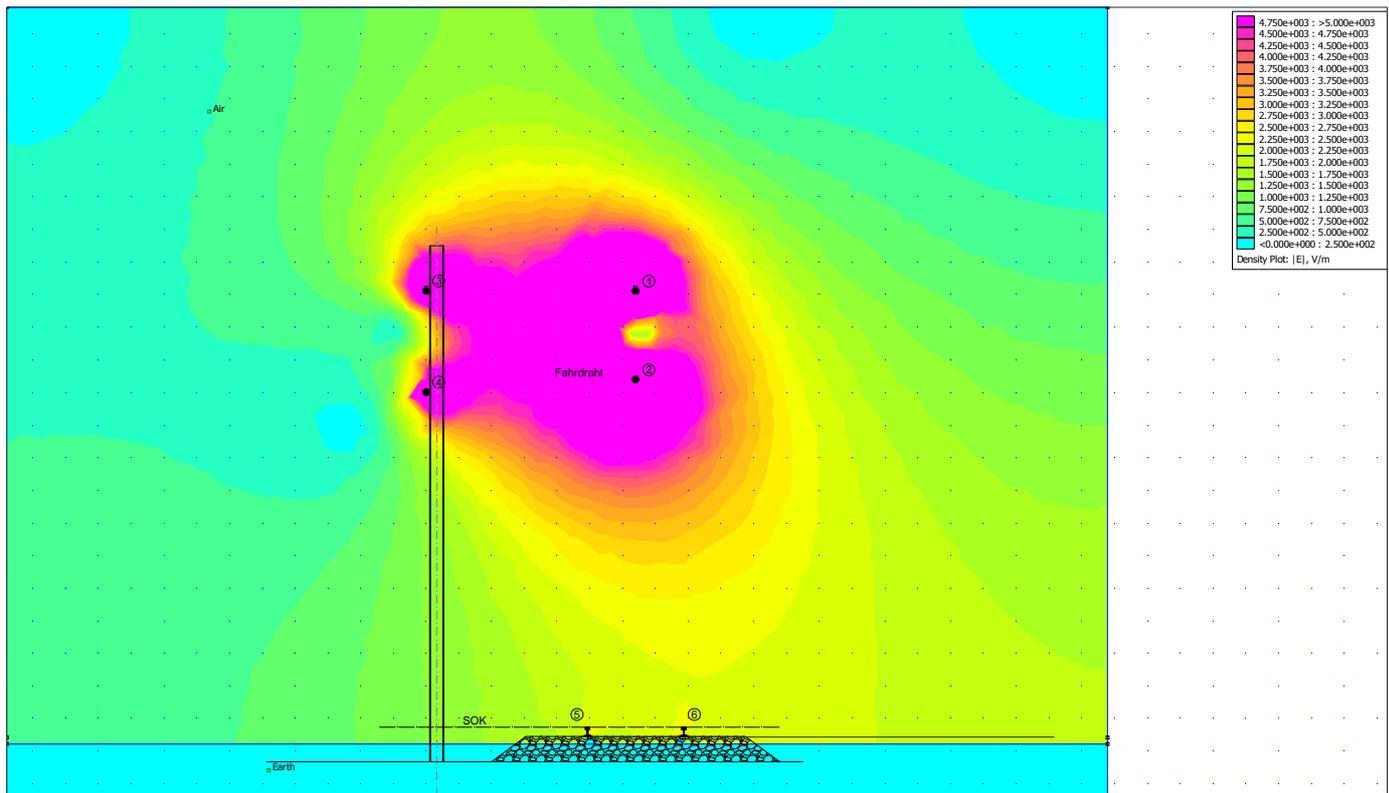


Abbildung 2-1: Berechnete elektrische Feldstärke (V/m) an der offenen Strecke

Kableitungen können im Gegensatz zu Freileitungen zugänglich erstellt werden. Es sind keine Sicherheitsabstände notwendig, weil die Aussenhüllen der Kabel berührungssicher sind. Zudem wird bei Kabeln das elektrische Feld durch die Isolation komplett abgeschirmt. Aus diesem Grund wird auch hier der Grenzwert der elektrischen Feldstärke grundsätzlich eingehalten, weshalb weitere Betrachtungen zur Beurteilung nicht erforderlich sind.

Demzufolge wurden zur Beurteilung der Immissionswerte nur die für die magnetische Flussdichte spezifischen Berechnungen angestellt.

2.3 Typische Querprofile

Die Berechnung der elektromagnetischen Felder wurde für 8 typische Fahrleitungsanordnungen sowie für die Speiseleitung zwischen Unterwerk und Strecke durchgeführt. Die Leiteranordnungen wurden von STA vorgegeben (siehe [7]) und sind in den folgenden Kapiteln dargestellt. Es gelten die Leiterbezeichnungen gemäss folgender Tabelle:

Nr.	Bezeichnung	Typ / Querschnitt
1	Tragseil	BzII, 50 mm ²
2	Fahrdraht	CuAg0.1, 80 mm ²
3	Rückleiter	ACSR (Aldrey) 148.5 mm ² (Cat. 785/142)
4	Rückleiter	ACSR (Aldrey) 148.5 mm ² (Cat. 785/142)
5	Schiene	UIC 50
6	Schiene	UIC 50

Tabelle 2-1: Bezeichnung und Typ der Leiter

2.3.1 Querprofil 1 – Offene Einspurstrecke

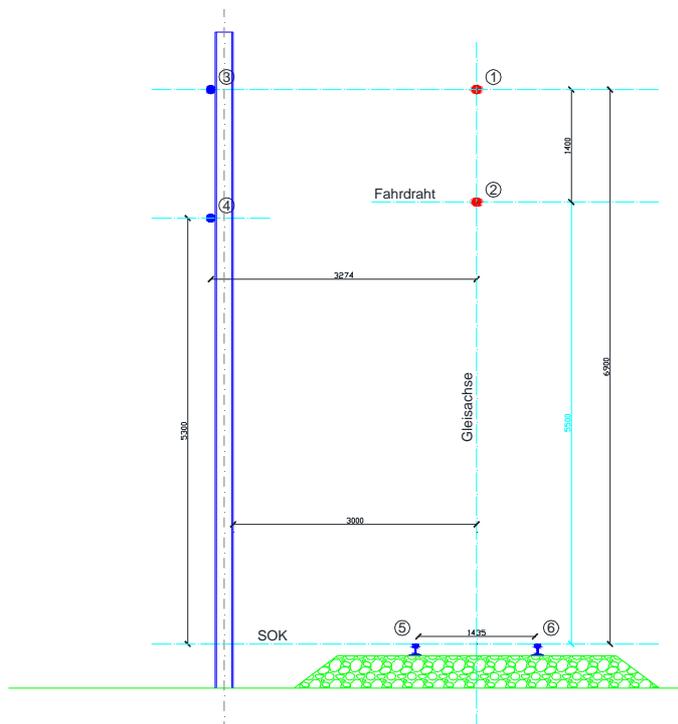


Abbildung 2-2: Fahrleitungsanordnung der offenen Einspurstrecke (Quelle: [7])

2.3.2 Querprofil 2 – Haltestelle mit breiter Plattform

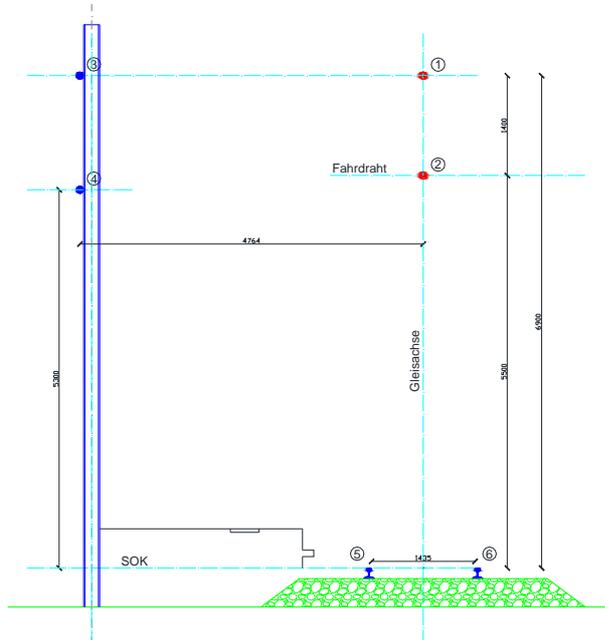


Abbildung 2-3: Fahrleitungsanordnung der Haltestellen mit breiter Plattform (Quelle: [7])

2.3.3 Querprofil 3 – Haltestelle mit schmaler Plattform

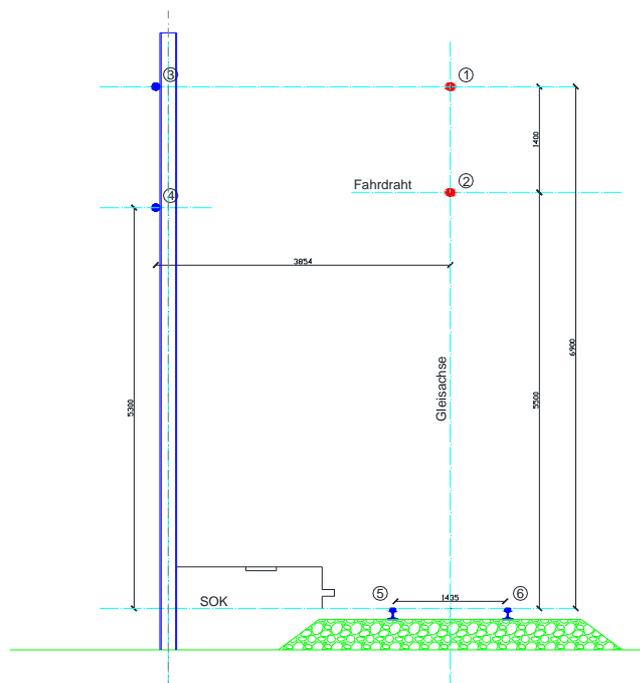


Abbildung 2-4: Fahrleitungsanordnung der Haltestellen mit schmaler Plattform (Quelle: [7])

2.3.4 Querprofil 4 – Station mit mittigem Mast Typ A

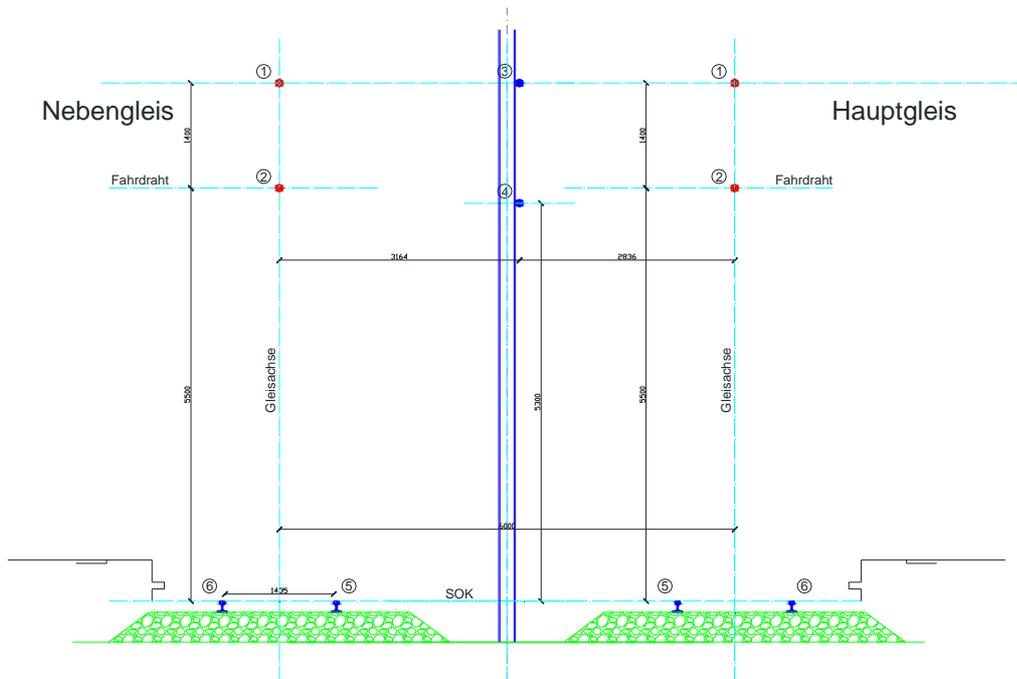


Abbildung 2-5: Fahrleitungsanordnung der Stationen mit mittigem Mast vom Typ A (Quelle: [7])

2.3.5 Querprofil 5 – Station mit mittigem Mast Typ B

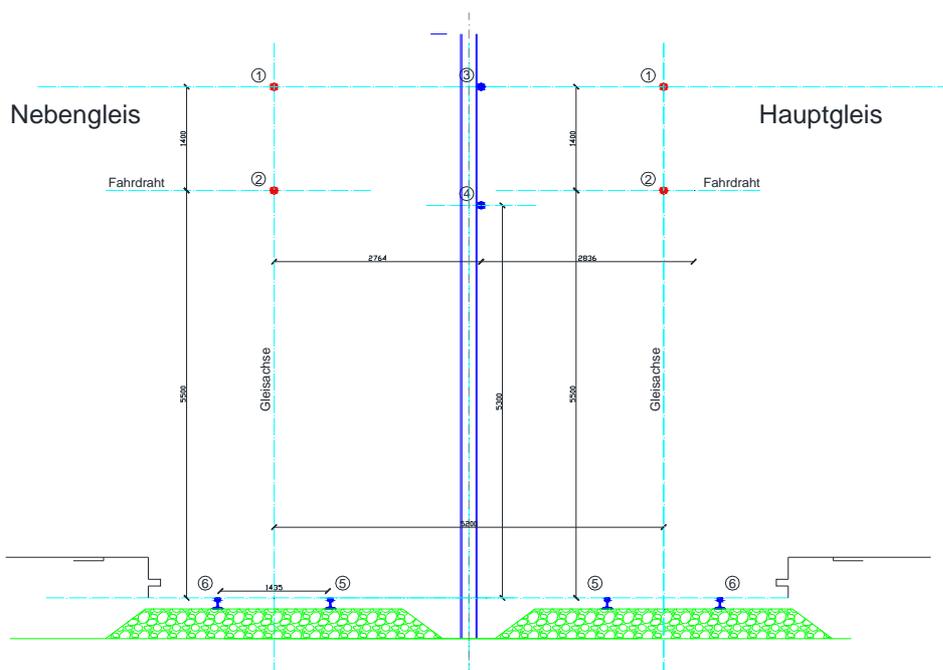


Abbildung 2-6: Fahrleitungsanordnung der Stationen mit mittigem Mast vom Typ B (Quelle: [7])

2.3.6 Querprofil 6 – Station mit seitlichem Mast Typ A

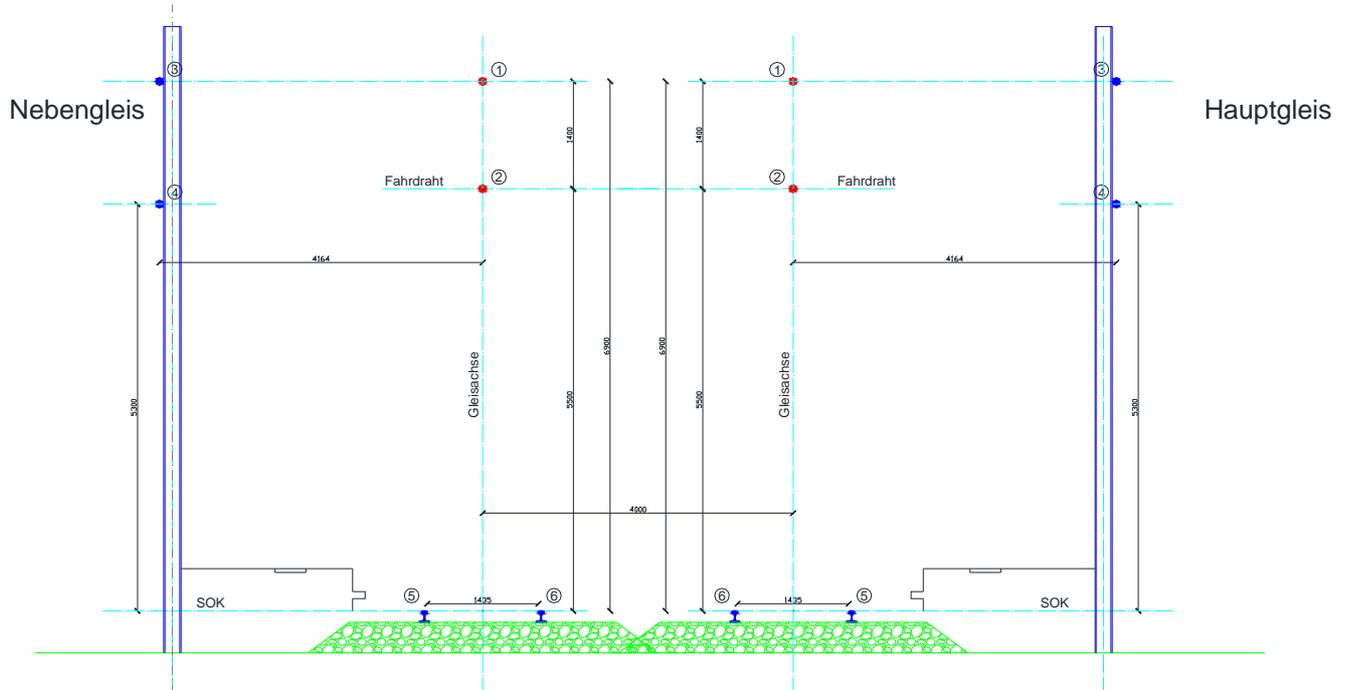


Abbildung 2-7: Fahrleitungsanordnung der Stationen mit seitlichem Mast vom Typ A (Quelle: [7])

2.3.7 Querprofil 7 – Station mit seitlichem Mast Typ B

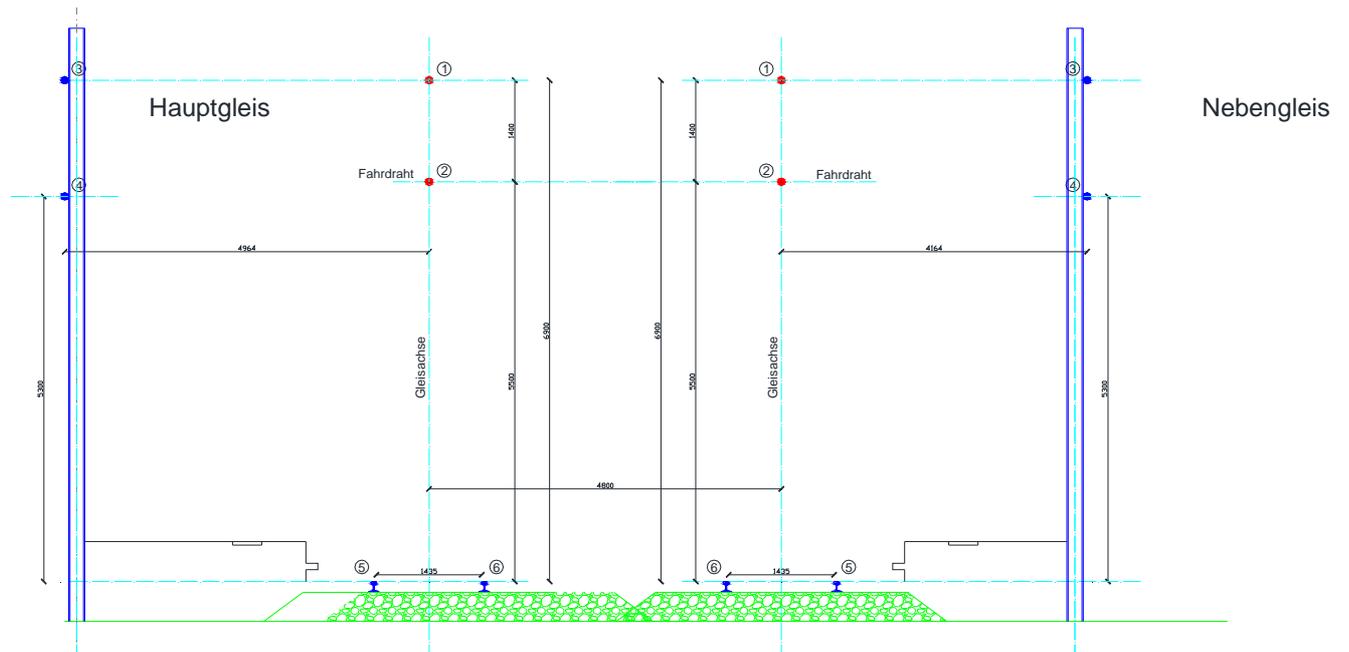


Abbildung 2-8: Fahrleitungsanordnung der Stationen mit seitlichem Mast vom Typ B (Quelle: [7])

2.3.8 Querprofil 8 – Station mit seitlichem Mast Typ C

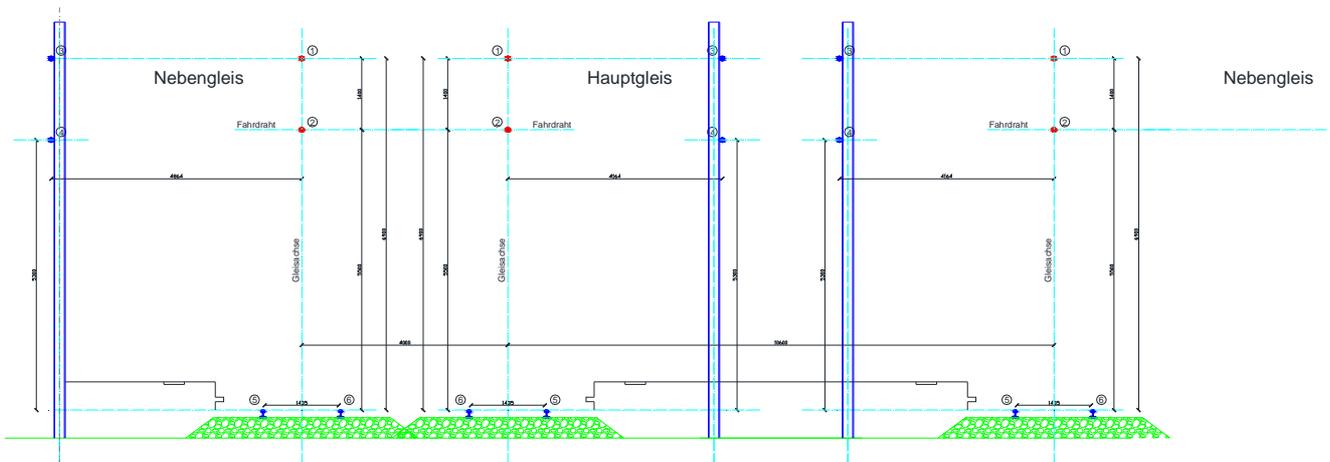


Abbildung 2-9: Fahrleitungsanordnung der Stationen mit seitlichem Mast vom Typ C (Quelle: [7])

2.3.9 Speiseleitungen Unterwerk – Bahnstrecke

Gemäss STA sind die Speise- und Rückleitungen vom Unterwerk bis zur Fahrleitung als Kabel, verlegt in Kabelschutzrohren, auszuführen.

Laut Angaben von STA werden pro Speisepunkt jeweils zwei Hinleiterkabel und zwei Rückleiterkabel installiert. Aufgrund der Fahrleitungsennspannung von 25 kV (Phase – Erde, U_0) müssen Hinleiterkabel der Spannungsreihe 26/45 kV verwendet werden. Das Rückleitersystem wird als erdfühliges System vorgesehen. Aufgrund der direkten Verbindungen zu berührbaren und geerdeten Teilen treten im Rückleitersystem nur kleine Spannungen gegen Erde auf. Aus diesem Grund müssen die Kabel – entgegen den Vorgaben von STA – nicht auf Fahrleitungsennspannung isoliert sein. Für die Rückstromführung können somit Kabel für eine Nennspannung von 0.6/1 kV verwendet werden.

Als Nennquerschnitt wurde von STA pro Kabel für Hin- und Rückleiter 120 mm² Cu vorgegeben. Hin- und Rückleiterkabel werden jeweils paarweise gemeinsam in ein Kabelschutzrohr eingezogen. Die Kabelschutzrohre werden in einem Kabelrohrblock einbetoniert. Zur Definition der Verlegetiefe und der Minimalabstände unter Berücksichtigung der ausreichenden Stromtragfähigkeit wurde die Norm IEC 60502-2 herangezogen. Diese gilt zwar nur für Kabel mit einer maximalen Nennspannung von 18/30 kV; mangels gültiger Norm für Mittelspannungskabel höherer Nennspannungen wurde trotzdem auf diese zurückgegriffen.

Als Grundlage zur Bestimmung der Stromtragfähigkeit wurde ein Dreileiterkabel (zwei belastete Leiter pro Kabelschutzrohr sind in der Norm nicht vorhanden) verwendet. Mit 120 mm² Cu und XLPE Isolation resultiert eine maximale Stromtragfähigkeit pro Leiter von 264 A, bei einer Verlegetiefe von 0.8 m. Der zu berücksichtigende Reduktionsfaktor für 4 Kabelschutzrohre nebeneinander verlegt mit einer Distanz von 20 cm ist 0.75 ([3], Tabelle B.20). In [4] ist für einbetonierte Kabelschutzrohre keine minimale Verlegetiefe vorgegeben. In der Praxis wird der Kabelrohrblock in der Regel in einer Tiefe von rund 1 m erstellt. Der entsprechende Reduktionsfaktor hierfür ist 0.98. Daraus resultiert eine Stromtragfähigkeit von 194 A pro Kabel.

Die zu erwartenden auftretenden 15-Minuten-Ströme betragen (gemäss Kapitel 5.1) maximal 220 A. Mit zwei parallel verlegten Hinleiterkabel pro Speisepunkt ist die Stromtragfähigkeit mit insgesamt 388 A

dauernd genügend gross. Die Rückleiterkabel weisen denselben Querschnitt wie die Hinleiterkabel auf und sind damit ähnlich belastbar. Fällt von den insgesamt 4 Rückleiterkabeln eines aus (n-1), so vermögen die übrigen 3 Kabel einen Dauerstrom von max. 582 A zu übertragen und sie werden somit nicht überlastet.

Ein 26/45 kV Einleiterkabel 120 mm² Cu hat typischerweise einen Aussendurchmesser von ca. 44 mm, ein 0.6/1 kV Einleiterkabel 120 mm² Cu einen von ca. 20 mm. Damit beide Kabel in ein Kabelschutzrohr eingezogen werden können, muss dessen Innendurchmesser gemäss Angaben von Kabelherstellern 1.5 Mal den Durchmesser über beide Kabel aufweisen. Daher würde ein Rohr mit 100 mm Innendurchmesser ausreichen. Es wird jedoch empfohlen, Kabelschutzrohre mit mindestens 150 mm Innendurchmesser einzusetzen, um für zukünftige Leistungserweiterungen genügend Platz für grössere Kabelquerschnitte zu haben.

Gemäss der Norm [4] müssen die Kabelschutzrohre der Mittelspannungskabel gegenüber Leitungen mit Niederspannung oder Telekommunikation einen Mindestabstand von 30 cm aufweisen. Zudem muss über dem Kabelrohrblock im Abstand von mindestens 20 cm ein Warnband eingelegt werden. Abbildung 2-10 zeigt eine mögliche Anordnung der Kabelschutzrohre und die Mindestabstände für den Kabelrohrblock zwischen dem Unterwerk und der Bahnstrecke.

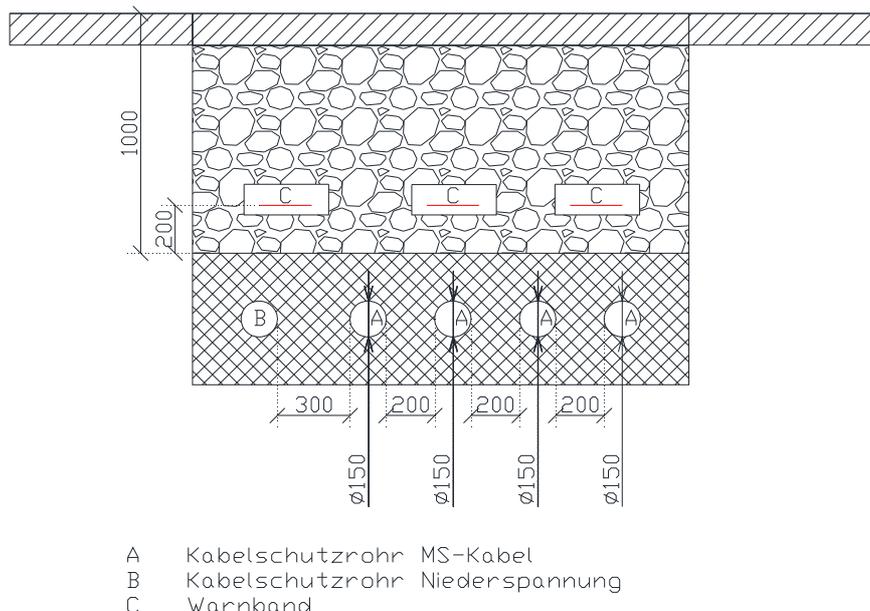


Abbildung 2-10: Kabelrohrblocks zwischen Unterwerk und Strecke

3 SOFTWARE – WERKZEUGE

3.1 SIMNET

Das Softwarewerkzeug SIMNET dient der Berechnung von Strömen und Spannungen in einem Netzwerk mit parallel verlaufenden Leitern, also wie dies typischerweise in einer Bahntrasse mit Fahrdrabt, Tragseil, Speiseleitungen, Feeder, Erdseilen, Schienen und Kabel der Fall ist. Das Programm gelangt insbesondere zur Anwendung bei der

- Berechnung der Rückstromführung in Tunneln und auf offener Strecke (Erdseile, Schienen, Armierung, Erdreich etc.)
- Berechnung der Stromaufteilung zwischen verschiedenen, parallel verlaufenden Hin- und R ckleitern
- Berechnung der magnetischen Flussdichte bei einer bestimmten Leiteranordnung und Leiterbelastung
- Berechnung der Impedanzen für verschiedene Fahrleitungs- und R ckleitungskonfigurationen als Grundlage für FABEL
- Berechnung der Beeinflussung von parallel verlaufenden Signal- und Fernmeldekabeln
- Ermittlung von Spannungen und Potenzialen von Leitern und der Erde in Kurzschlussfllen und während des Normalbetriebs
- Abschätzung der Auswirkungen von Erdungen und unterschiedlichen Leiteranordnungen

SIMNET führt eine Netzwerkberechnung unter Berücksichtigung einer beliebig langen Aneinanderreihung von Abschnitten durch, die jeweils aus parallelen Leitern und Verbindungen (Impedanzen, Quellen) zwischen den Leitern und nach Erde bestehen. Die Berechnung erfolgt für eine wählbare Frequenz. Basierend auf den ermittelten Stromverteilungen kann EMFCALC die resultierende magnetische Flussdichte in senkrecht zu den Leitern stehenden Ebenen berechnen.

Für jede in einem System vorkommende Leiteranordnung (Trasstyp) werden die geometrischen und physikalischen Daten der Leiter in einer Bibliothek abgelegt. Zu den Leiterdaten gehören: Position jedes Leiters im Querschnitt-Koordinatensystem, Leiterdurchmesser, relative Permeabilität, spezifischer Gleichstromwiderstand, Ableitungswiderstand nach Erde. Ebenso wird eine Bibliothek aller Querverbindungen zwischen den Leitern angelegt, z. B. für Einspeisungen, Verbraucher (Züge), Erdverbindungen, Masterdungen, Leiterverbindungen etc. Der zu untersuchende Streckenabschnitt wird modelliert, indem die vorkommenden Leiteranordnungen als Abschnitte entsprechender Länge aneinander gereiht und die verschiedenen Arten von Querverbindungen an den gewünschten Stellen platziert werden.

SIMNET berechnet aufgrund der Modelldaten die ohmschen Widerstände, die Eigeninduktivitten und die Kapazitätsbeläge der einzelnen Leiter, die induktiven und kapazitiven Kopplungen sämtlicher Leiter untereinander und nach Erde. Dabei wird die Stromverdrängung in den Leitern ebenso berücksichtigt wie die erwartete Erdstromtiefe und der Erdwiderstand.

3.2 EMFCALC

EMFCALC ist ein Programm zur Berechnung des magnetischen Feldes im Bereich einer Eisenbahnstrecke. Als Grundlage für eine Berechnung mit EMFCALC dient die mit SIMNET ermittelte Stromverteilung auf die verschiedenen Leiter.

EMFCALC berechnet die magnetische Flussdichte in Ebenen, die senkrecht zu den Leitern stehen. Die Flussdichte wird an vordefinierten Punkten in diesen Ebenen berechnet. Der Abstand dieser Punkte kann vom Benützer gewählt werden. Die berechnete magnetische Flussdichte kann mit der Darstellung von Isolinien visualisiert werden.

4 MODELLIERUNG DER 25 kV Anlage

4.1 Aufbau des Modells

Zur Berechnung der Stromverteilung in den R ckleitern wurde in SIMNET eine 60 km lange einspurige Bahnstrecke abgebildet, in deren Mitte die Einspeisung (das Unterwerk Goldrain) liegt. Die gesamte Strecke wurde mit der Fahrleitungsanordnung der offenen Strecke (Querprofil 1) modelliert – das Initialmodell. Für die Berechnung der Stromverteilung in den Leitern der Haltestellen und Stationen (Querprofil 2 bis 8) wurde das Initialmodell der einspurigen Strecke entsprechend adaptiert. Dabei wurde in der Fahrleitungsabschnittsmittle (km 45)  ber eine Länge von 600 m die Fahrleitungsanordnung des entsprechenden Querprofils eingefügt.

4.2 Erdung

Für die Erdung wurden im Modell die folgenden Erfahrungswerte angewendet:

- Erdwiderstand: 161 Ω m
- Masterdung: alle 50 m mit 25 Ω pro Mast
- Querverbindungen: alle 250 m sind das R ckleiterseil und die Schienen miteinander verbunden.
- Unterwerkserdung: 200 m Ω
- Erdstromtiefe: 2035 m (wurde mit Hilfe von SIMNET berechnet)

4.3 Leitereigenschaften

Leiter-Nr. (gemäss Kapitel 2.3)	Radius [mm]	DC-Widerst. [Ω /m]	relative Permeabilität	Ableitung [S/m]
1. Tragseil	4.0	566E-03	1	0.000
2. Fahrdraht	5.3	224E-03	1	0.000
3. Rückleiter	6.4	222E-03	1	0.000
4. Rückleiter	6.4	222E-03	1	0.000
5. Schiene	45 ⁴	3.69E-05	50	0.001 ⁵
6. Schiene	45	3.69E-05	50	0.001

Tabelle 4-1: Modellierte Leitereigenschaften

⁴ äquivalenter Radius

⁵ Für normale Schienen auf Schotterbett mit Kiesunterbau

5 STROM ZUR BEURTEILUNG DES ANLAGEGRENZWERTS

5.1 Strom in Fahrleitungen und Speiseleitungen

Der Anlagegrenzwert gemäss DPCM 8. Juli 2003 [1] beträgt 3 μT für den Effektivwert magnetischer Flussdichte als Mittelwert während 24 h. Gemäss NISV [2] beträgt der vorsorgliche Anlagegrenzwert für den Effektivwert der magnetischen Flussdichte 1 μT , gemessen als Mittelwert während 24 Stunden.

Die Beurteilung erfolgt anhand eines mittleren Stroms, der auf dem massgebenden Betriebszustand (Normalbetrieb) basiert. In der vorliegenden Untersuchung wurde dieser Strom aus simulierten Stundenwerten der Transformatorenbelastung in Goldrain abgeleitet, wie sie in Abbildung 5-1 ersichtlich sind. Die Angaben über die Transformatorenbelastung stammen von STA.

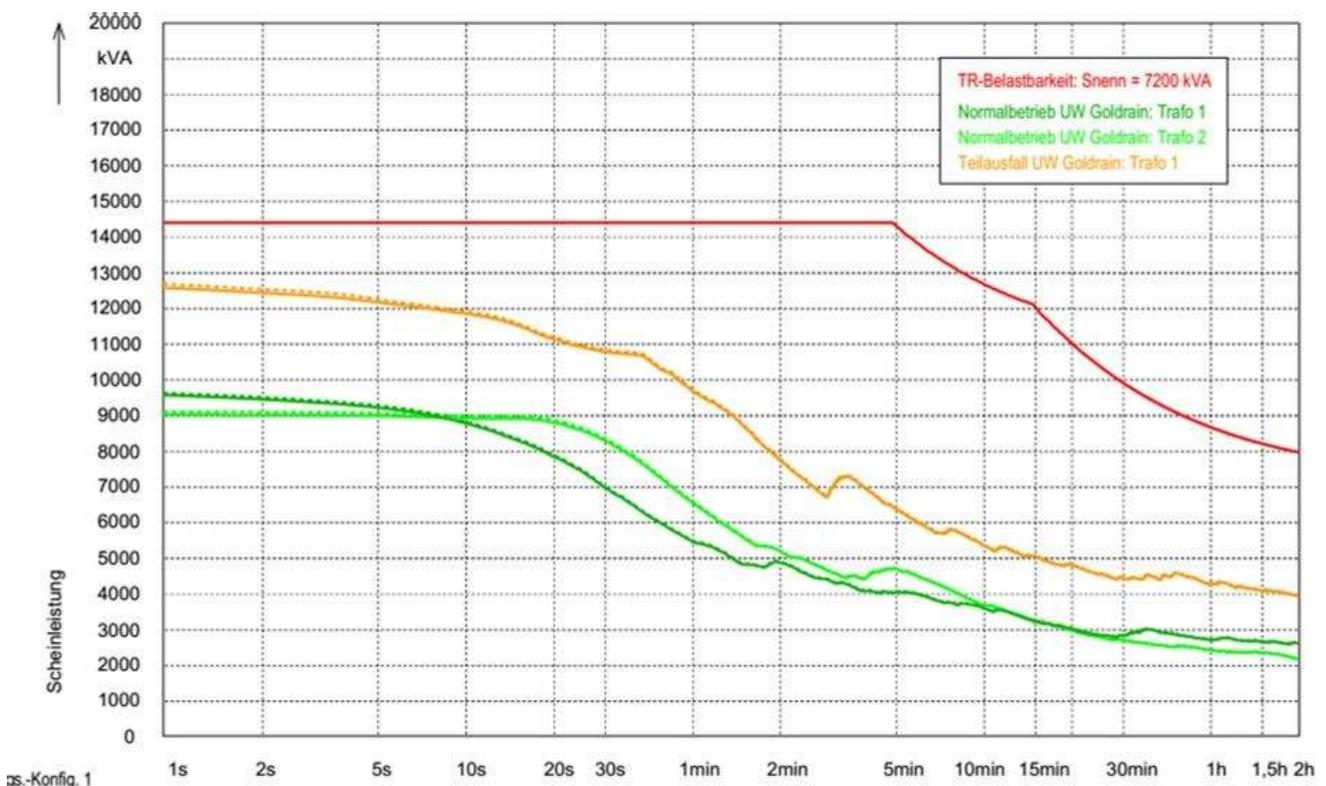


Abbildung 5-1: Zeitgewichtete Belastungen der Transformatoren im Unterwerk Goldrain (Quelle: STA)

Die Stundenbelastung für Trafo 1 und 2 beträgt rund 2.8 MVA. Dies entspricht bei einer Spannung von 25 kV einem Strom von 112 A pro Speisepunkt. Dieser Strom wurde ohne Berücksichtigung der regulären Betriebszeit von 19 Stunden direkt für die Magnetfeldberechnungen der Speiseleitung sowie der Fahrleitung des Hauptgleises verwendet. Die dadurch enthaltene Reserve von 26 % wurde für die Nachweisführung bewusst einkalkuliert, um allfällig zukünftigen betrieblichen Änderungen Rechnung zu tragen.

Zusätzlich sind hinsichtlich des angewendeten Stromes die folgenden Punkte zu berücksichtigen:

- Die durch STA durchgeführte Lastberechnung erfolgte mit voll beladenen 6-teiligen FLIRT-Fahrzeugen ETR 170 von Stadler. Die dabei verwendete Nutzlast beträgt 225 t, dies entspricht 650 Fahrgästen pro Zug.

- Auf der Vinschgerbahn verkehren derzeit je Richtung drei Züge innerhalb von zwei Stunden (abwechselnd Stunden- und Halbstundentakt). Für die Lastberechnungen wurde die heute freie Halbstundentakttrasse ebenfalls belegt, wodurch ein Verkehr mit zwei Zügen je Stunde und Richtung realisiert werden kann. Aufgrund der aktuellen Streckensituation (fehlender Ausbau des Streckenabschnitts Schlanders-Laas von 70 auf 100 km/h) resultiert daraus aber ein inhomogener Fahrplan. Dadurch entstehen örtlich und zeitlich grössere Belastungsspitzen, als mit dem zukünftig geplanten regulären Halbstundentakt mit ausgebauter Strecke zu erwarten sind.
- Dieser Fahrplan entspricht der grösssten möglichen Leistungsfähigkeit der Vinschgerbahn mit den vorhandenen Gleisanlagen (unter Berücksichtigung des oben genannten Ausbaus zwischen Schlanders und Laas). Diese Kombination aus deutlich höherem Platzangebot ( ber den Tag 265 % der heutigen Sitzplatzkapazität) und steigender Frequenz (ca. 130% der heutigen Anzahl Züge über den Tag) wird gemäss STA dem Verkehrsbedürfnis im Vinschgau mittel- bis langfristig genügen.
- Verkehrspolitisch gilt für alle Bahnlinien der Halbstundentakt von Montag bis Freitag; an Wochenenden wird derzeit auf einen Stundentakt reduziert. Eine Verdichtung über den Halbstundentakt hinaus ist nur auf den Hauptlinien Neumarkt-Brixen, sowie Bozen-Meran über einen Horizont von 10 Jahren geplant, wobei sich dies auf die Hauptverkehrszeiten beschränken wird.
- Vorgesehen ist der Betrieb mit einer eingestellten Spannung von 27.5 kV. Für die Ermittlung der magnetischen Flussdichte wurde jedoch die Strombelastung bei 25 kV Nennspannung beim Unterwerk verwendet. Damit ergibt sich hinsichtlich der elektromagnetischen Belastung eine weitere Reserve von 10 %.
- Die Magnetfeldberechnungen erfolgten für alle Querprofile mit dem Strom, der unmittelbar bei der Einspeisestelle in Goldrain auftritt. In Wirklichkeit nimmt der Strom in der Fahrleitungsanlage in Richtung Streckenende jedoch stetig ab, wie Abbildung 5-2 zeigt. Als Beispiel wurde daher für die offene Einspurstrecke mit einem Stromwert von 65 A, wie er in Laas auftritt, eine Vergleichsrechnung durchgeführt (Querprofil 1a Laas).

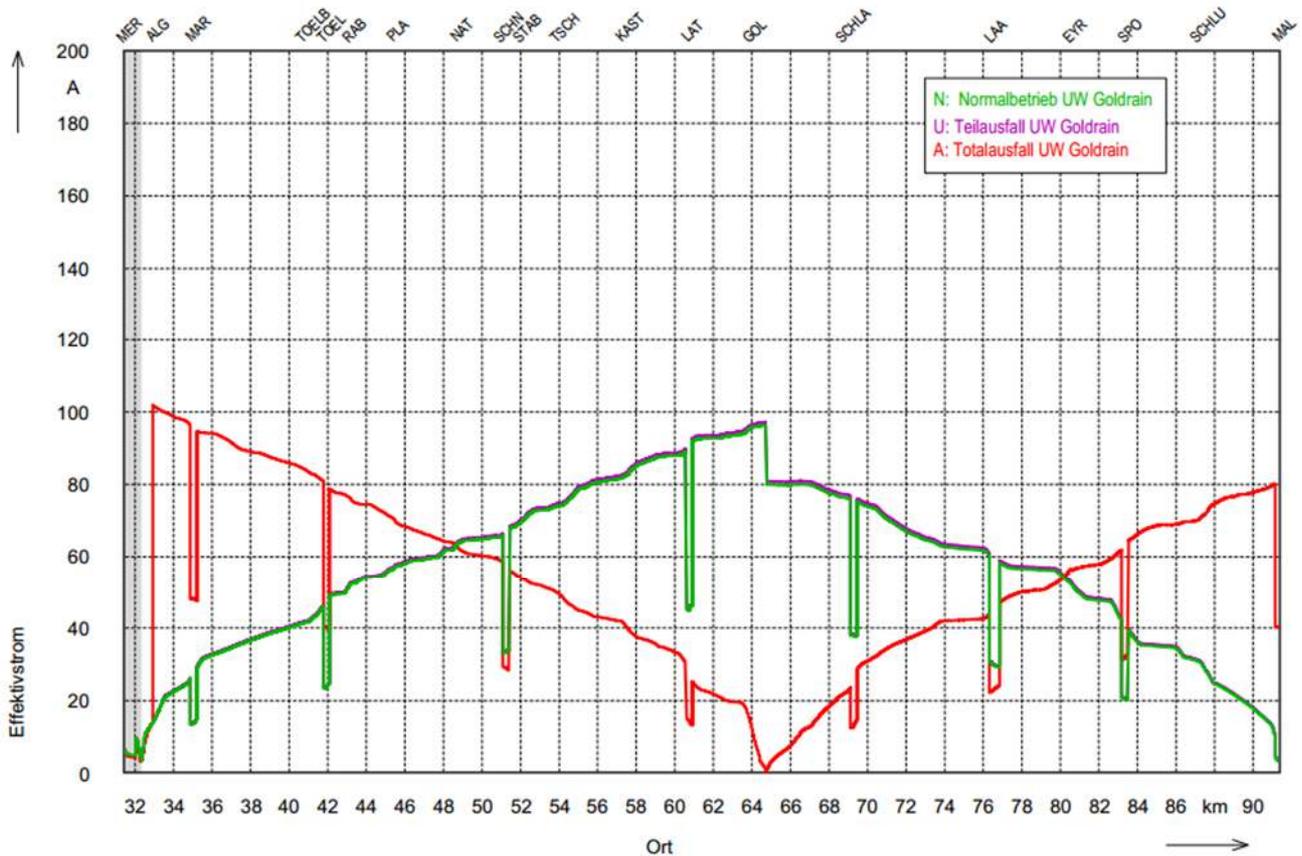


Abbildung 5-2: Stromverlauf Stundenwerte entlang der Strecke (aus der Lastberechnung von STA bei 27.5 kV)

5.2 Strom in der Fahrleitung von Nebengleisen

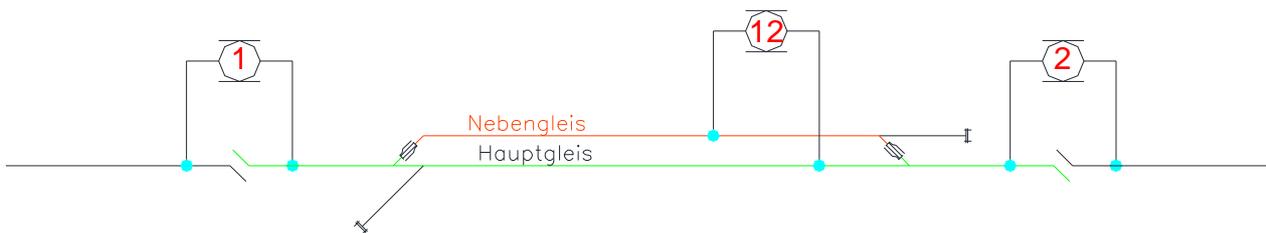


Abbildung 5-3: Typischer Fahrleitungsschaltplan einer Haltestelle

Wie in Abbildung 5-3 ersichtlich, ist die Fahrleitung in den Haltestellen und Stationen so aufgebaut, dass der Transitstrom ausschliesslich in der Fahrleitung des Hauptgleises fliesst.

In den Fahrleitungen der Nebengleise sind somit nur die Ströme bei Benützung des entsprechenden Gleises zu berücksichtigen. Für den Normalbetrieb ist ein 30-Minuten-Takt in beide Richtungen vorgesehen. Die den Berechnungen zu Grunde gelegten Fahrzeuge sind ETR 170 FLIRT von Stadler mit einer maximalen Leistung von 3 MVA.

In den taglichen 19 Betriebsstunden finden auf einem Nebengleis somit 38 Anfahrten statt. Es wird angenommen, dass der Fahrleistungssektor eines Nebengleises durchschnittlich 600 m lang ist, die maximale Geschwindigkeit 100 km/h betragt und das Fahrzeug mit 0.8 m/s^2 beschleunigt. Die durch die Anfahrt resultierende Stromrampe dauert rund 30 s. Der maximale Strombezug betragt 120 A. Daraus ergibt sich ein Stundenstrom von 4 A im Nebengleis.

Anhand dieses Stundenstroms resultiert in der Fahrleitung der Nebengleise ein 24-Stunden-Strom von 3.2 A.

5.3 Strom im Ruckleitungssystem

Die Stromverteilung im Ruckstromsystem des in Kapitel 4 beschriebenen Modells wurde mit Hilfe des Berechnungstools SIMNET berechnet.

6 STROM ZUR BERECHNUNG DER IMMISSIONSWERTE

Für die Berechnung der Immissionen werden die grössten auftretenden 1 s Stromwerte verwendet.

Für die Speiseleitung zwischen dem Unterwerk Goldrain und der Bahnstrecke tritt der höchste Stromwert auf, wenn die Speisung über nur eine Kabelleitung (2 x 120 mm²) erfolgt. Dieser beträgt dabei 500 A und entspricht dem Maximalwert der zeitlich gewichteten Summe der Ströme beider Speisepunkte (In unter „Teilausfall Goldrain: Trafo 1“ ersichtlich). Dieser Wert ist kleiner als die arithmetische Summe der Teilströme beider Fahrleitungssektoren, weil die Spitzenlasten zeitlich jeweils verschoben auftreten.

Die Beurteilung der Immissionen der Fahrleitungen erfolgte für alle betrachteten Fahrleitungsanordnungen anhand eines Spitzenwerts von 380 A. Dies entspricht einer maximalen berechneten Belastung von 9.5 MVA pro Transformator und damit der Spitzenlast eines Speisepunkts (siehe Abbildung 5-1, Normalbetrieb Goldrain Trafo 1).

7 BERECHNUNG DER MAGNETISCHEN FLUSSDICHTE

7.1 24-Stunden-Werte magnetischer Flussdichte (Emissionen)

Nachfolgende Kapitel enthalten die Grafiken mit den Linien konstanter Flussdichte bei sämmtlichen Querprofilen. Die Leiter sind dabei als kleine blaue ausgef llte Punkte dargestellt. Linien konstanter magnetischer Flussdichte sind rot, wobei die Isolinien der betrachteten Anlagegrenzwerte 1 μT , 3 μT und 10 μT fett hervorgehoben sind. Blaue Linien stellen allfällige Begrenzungen (Boden  .) dar.

7.1.1 Querprofil 1

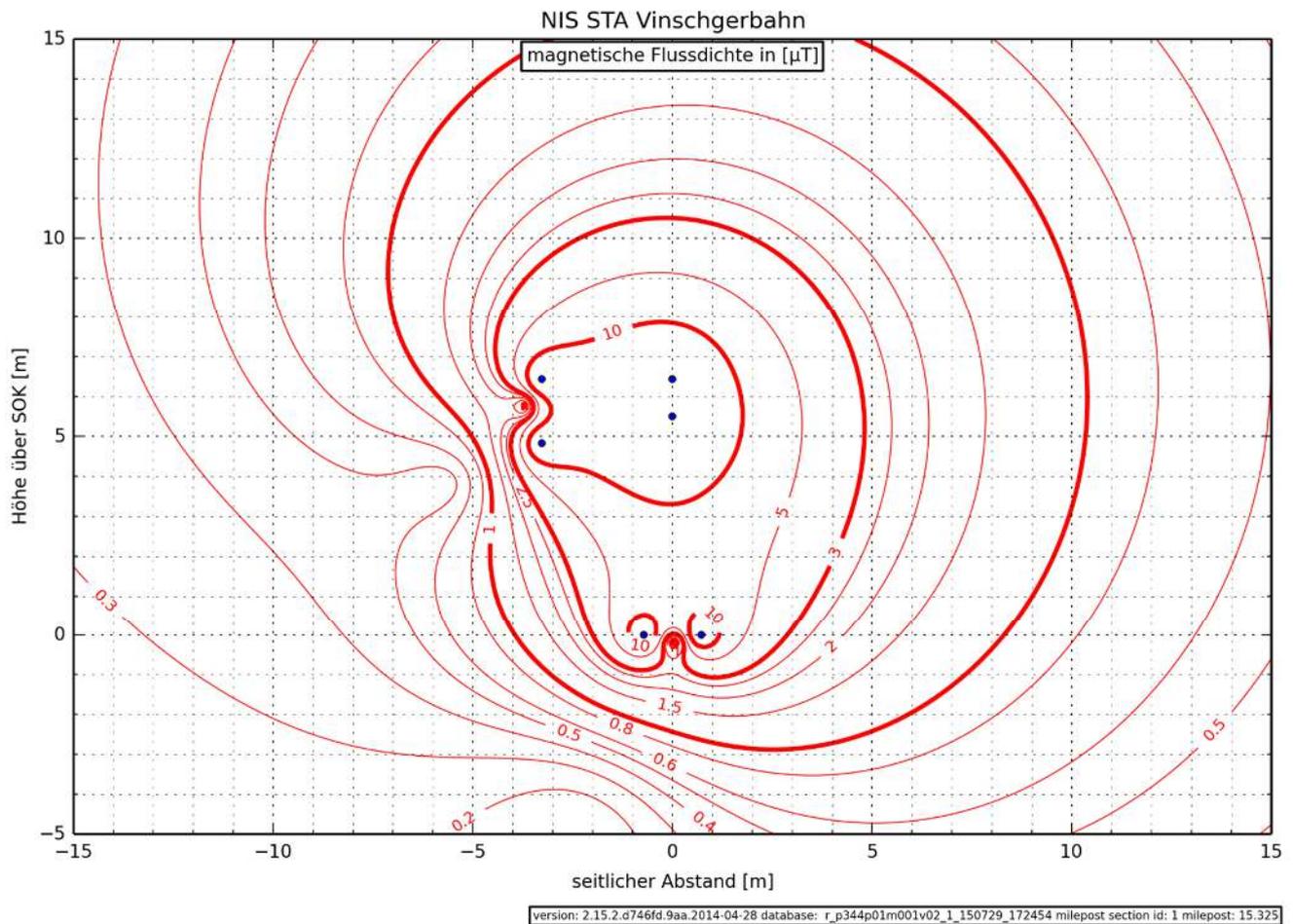


Abbildung 7-1: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 1, offene Einspurstrecke, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.2 Querprofil 1a Laas

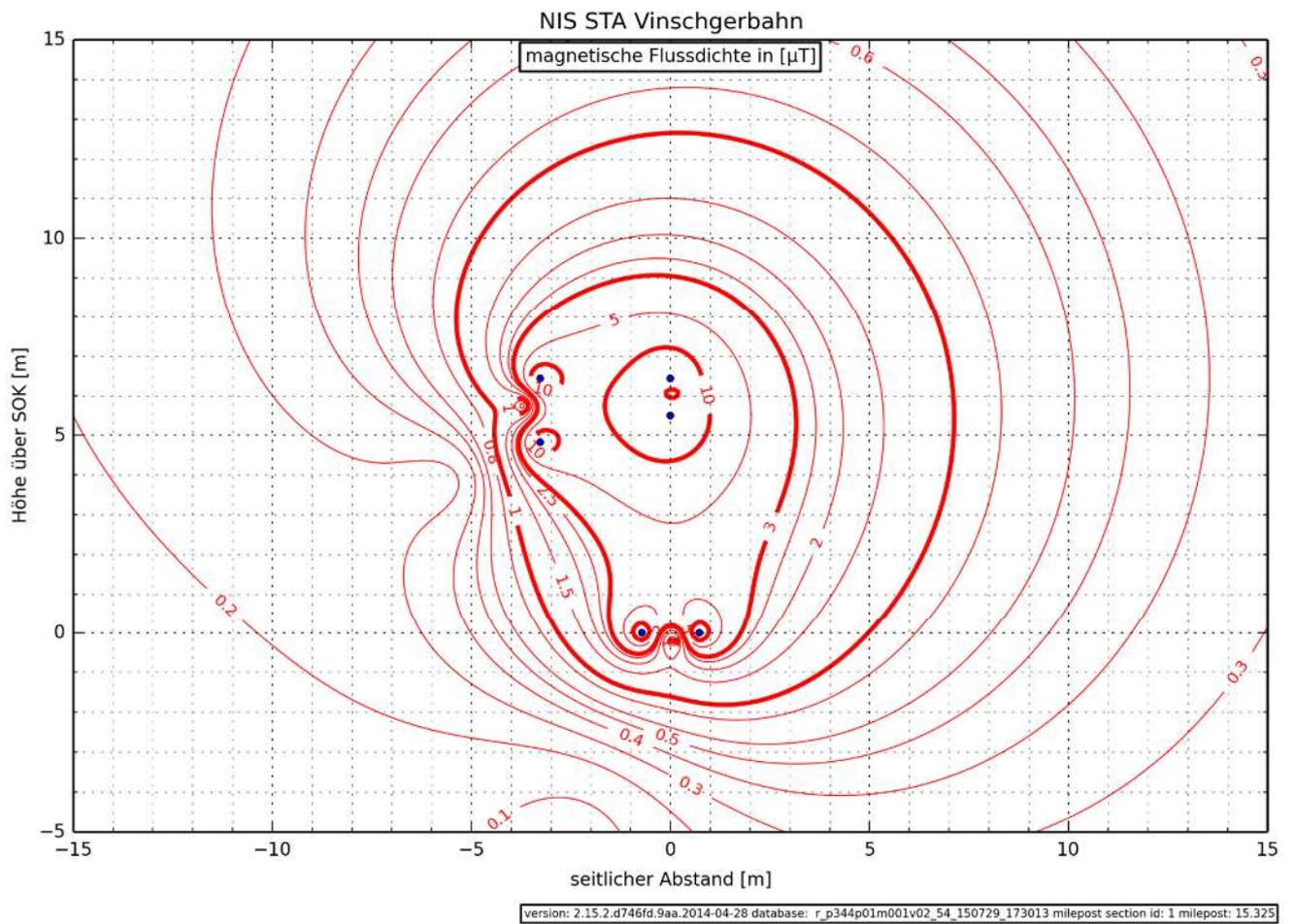


Abbildung 7-2: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 1a, offene Einspurstrecke bei Laas, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 65 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.3 Querprofil 2

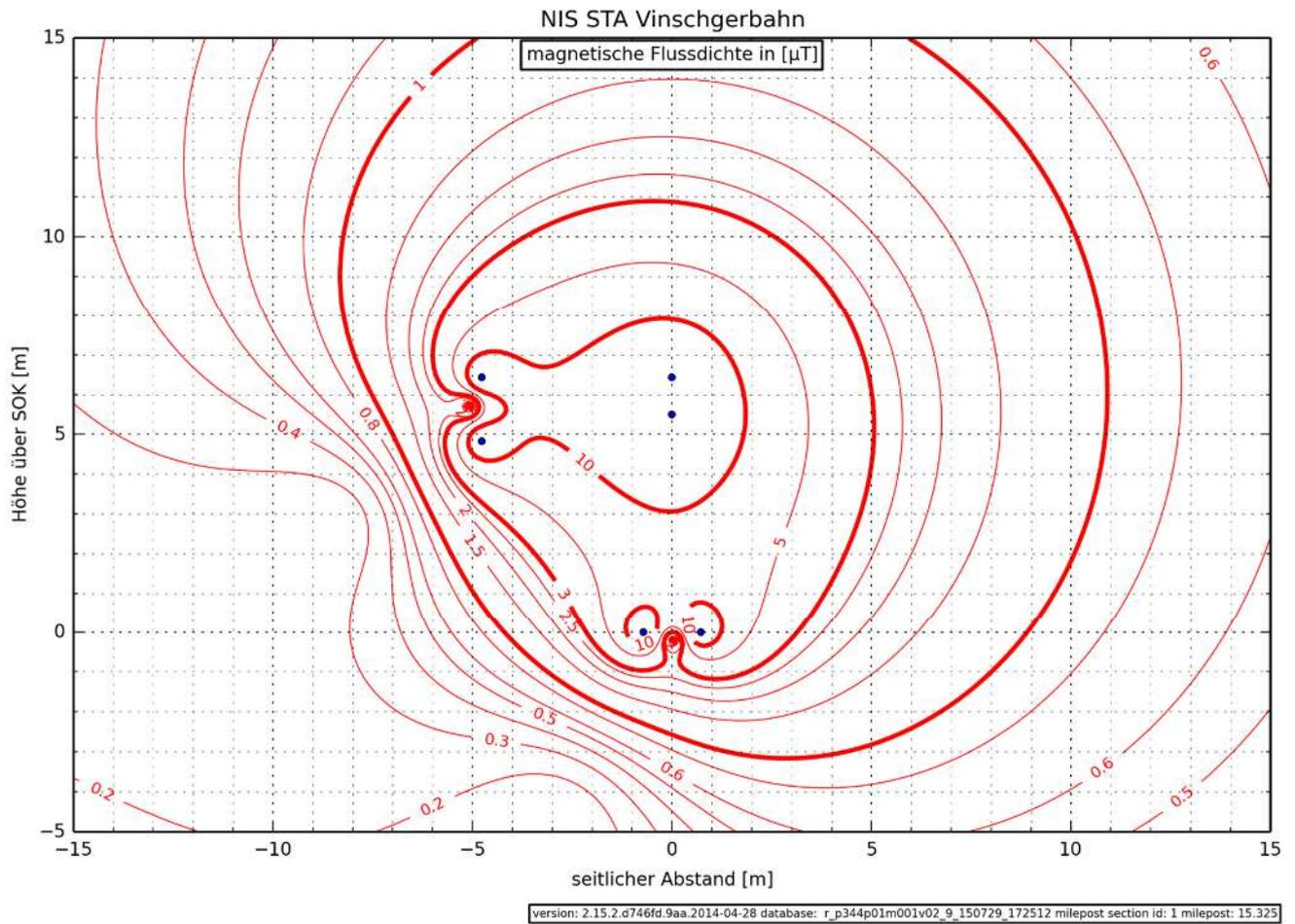


Abbildung 7-3: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 2, Haltestelle mit breiter Plattform, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.4 Querprofil 3

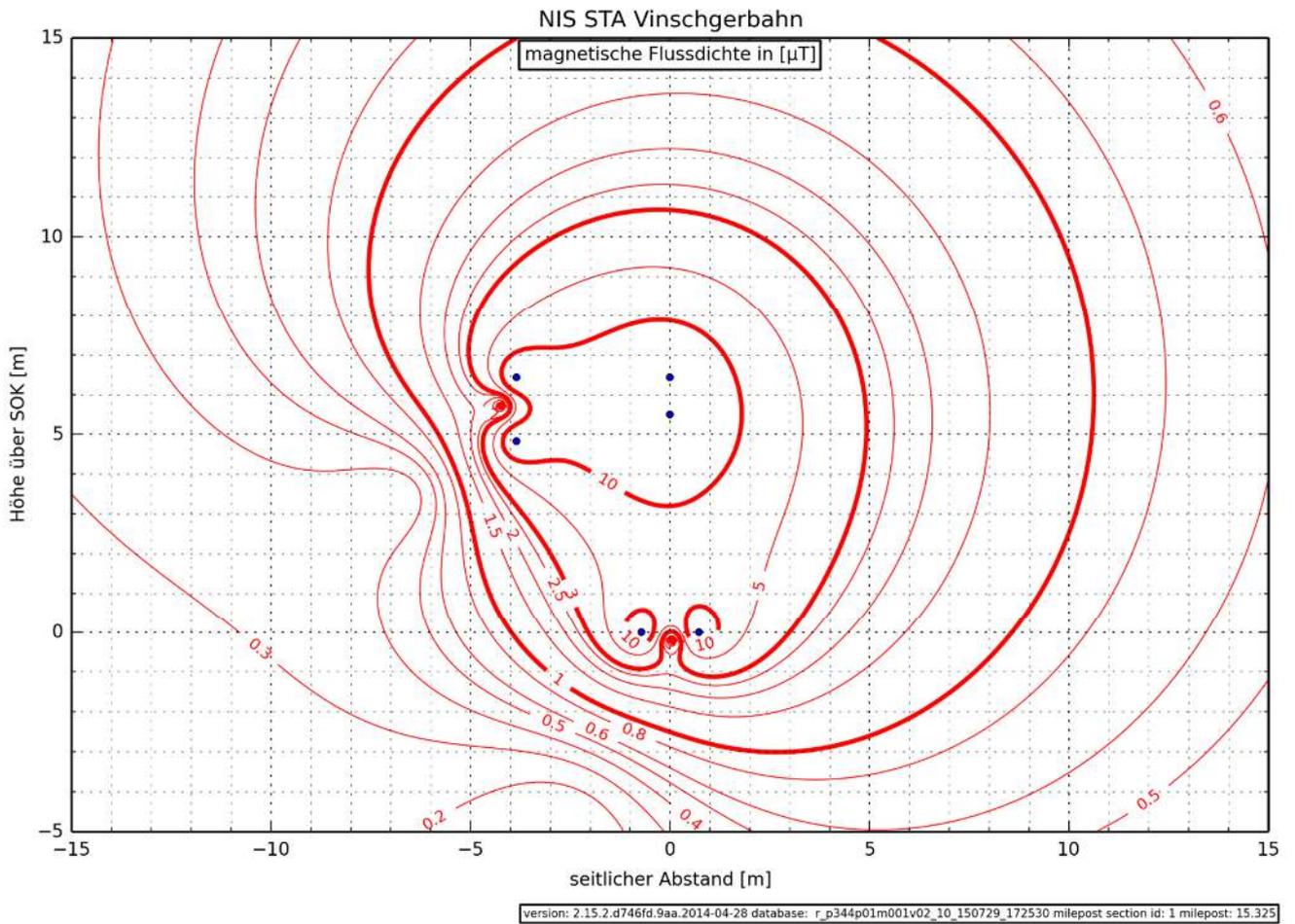


Abbildung 7-4: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 3, Haltestelle mit schmaler Plattform, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.5 Querprofil 4

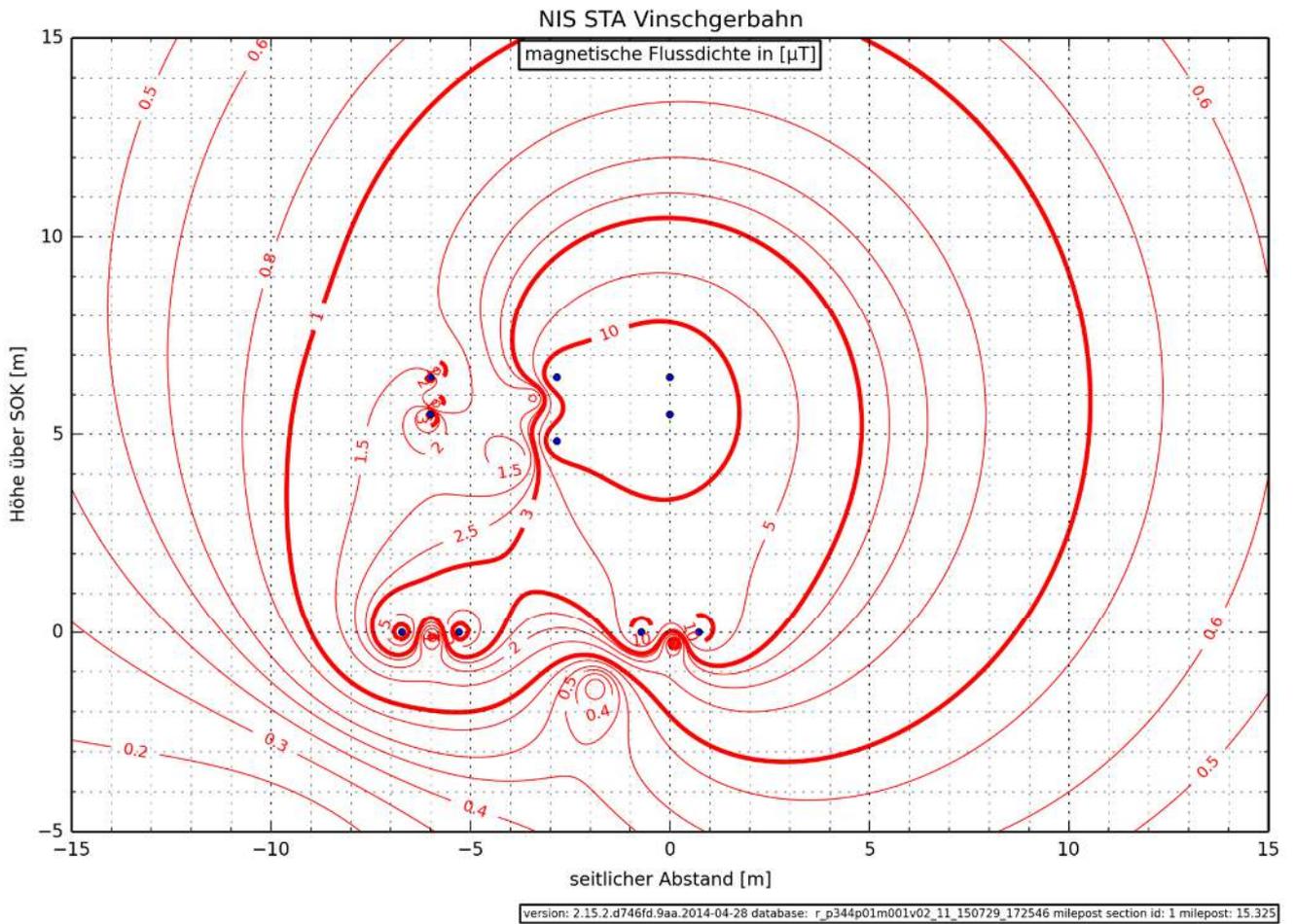


Abbildung 7-5: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 4, Station mit mittigem Mast Typ A, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.6 Querprofil 5

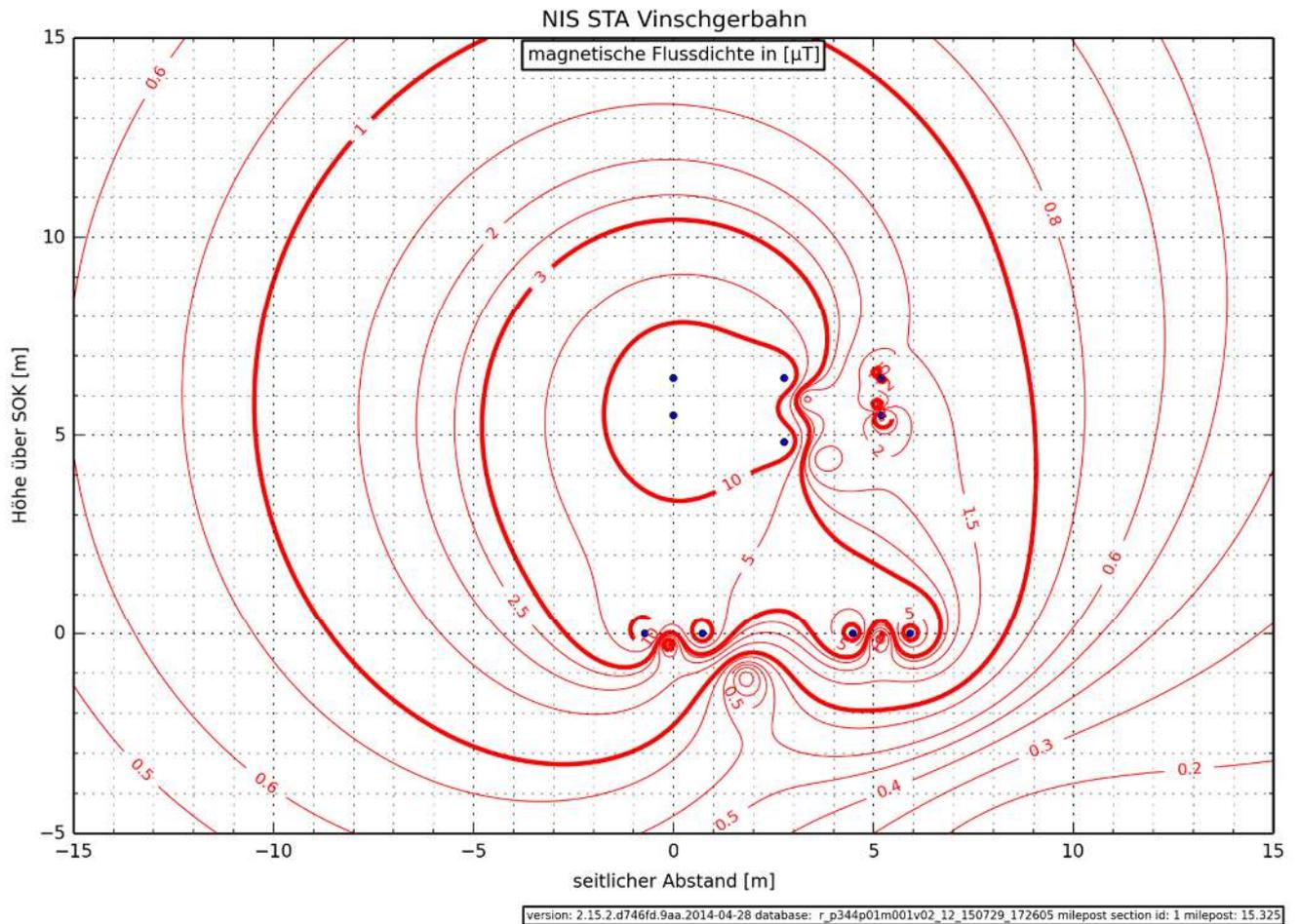


Abbildung 7-6: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 5, Station mit mittigem Mast Typ B, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.7 Querprofil 6

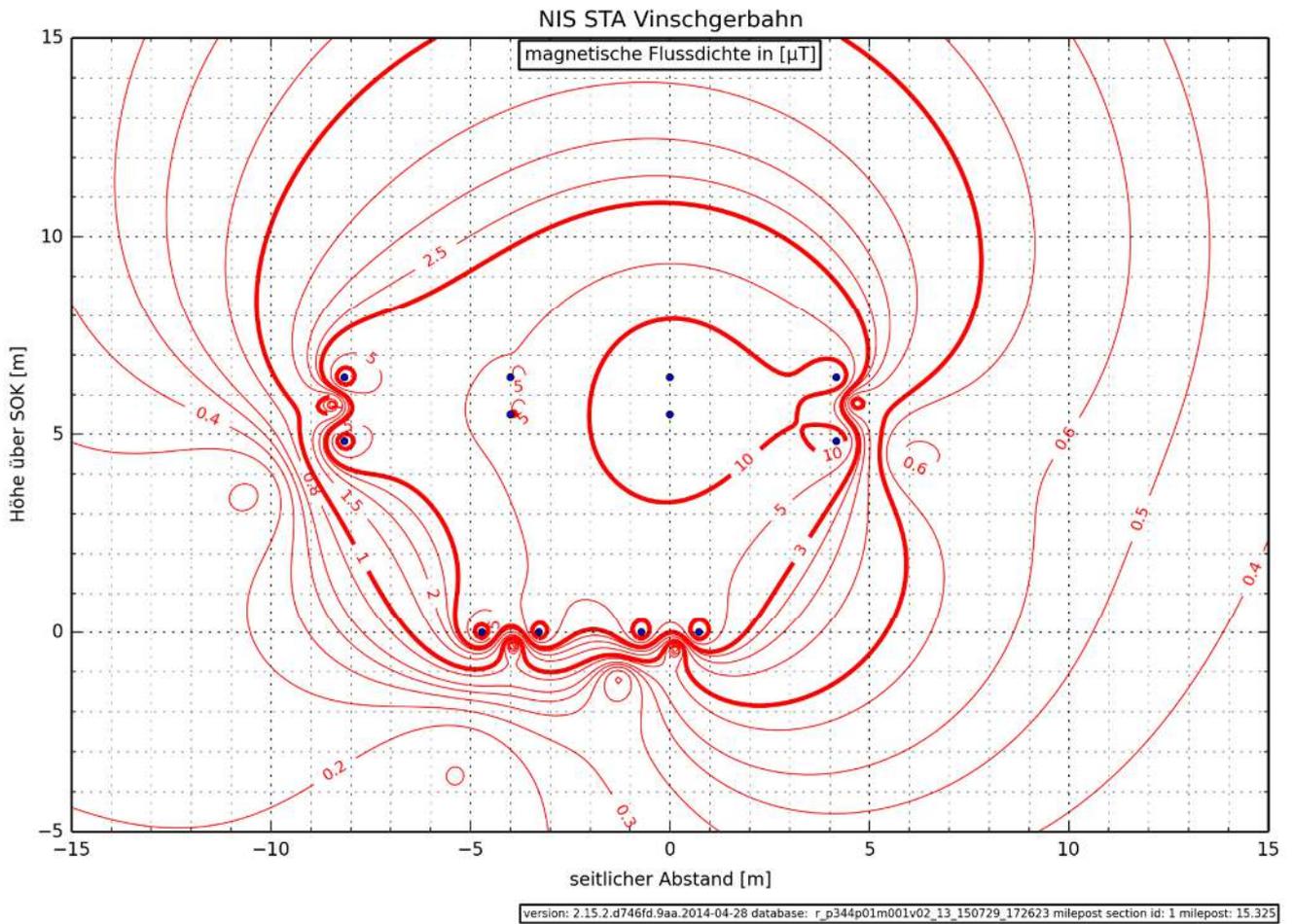


Abbildung 7-7: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 6, Station mit seitlichem Mast Typ A, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.8 Querprofil 7

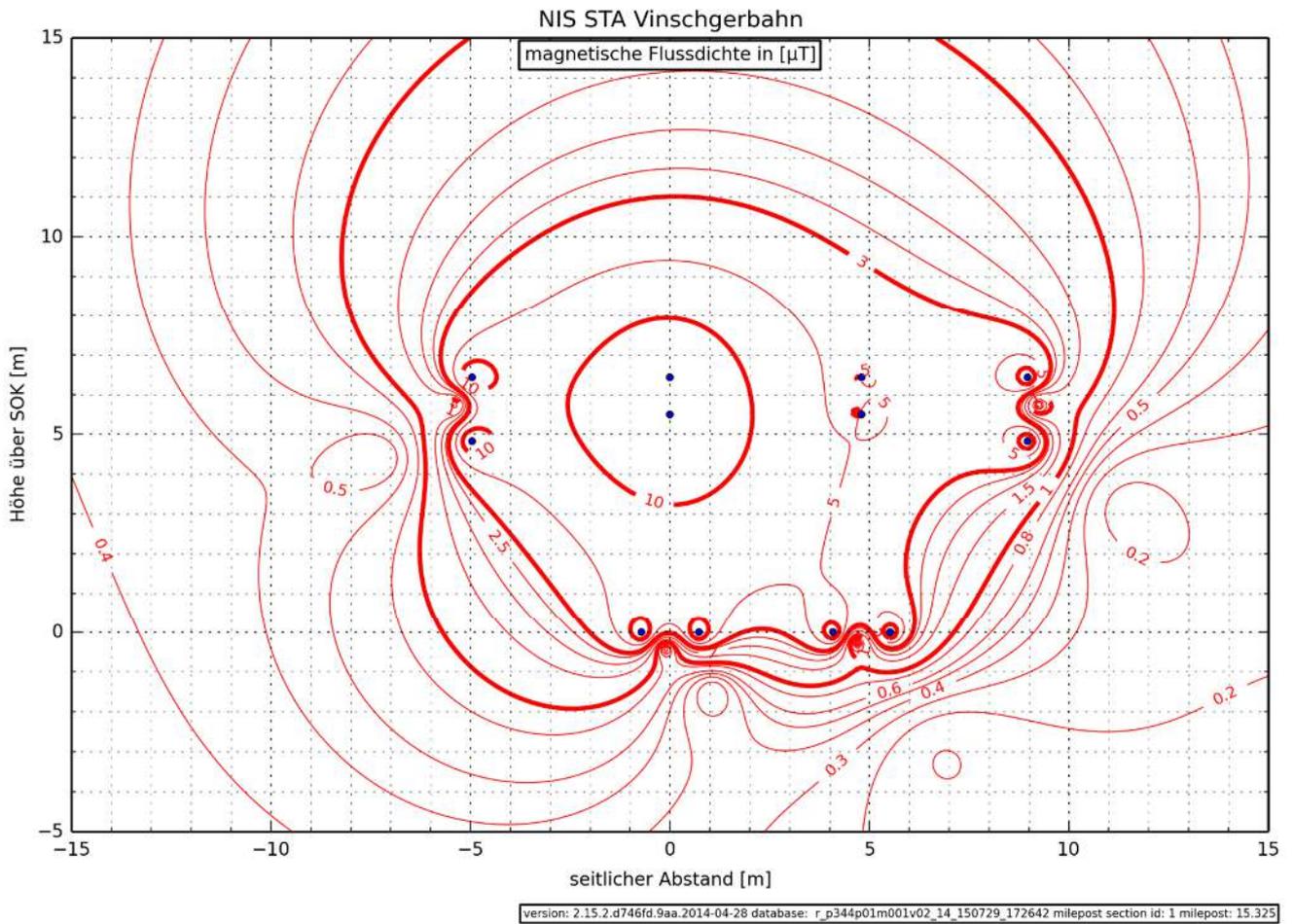


Abbildung 7-8: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 7, Station mit seitlichem Mast Typ B, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.9 Querprofil 8

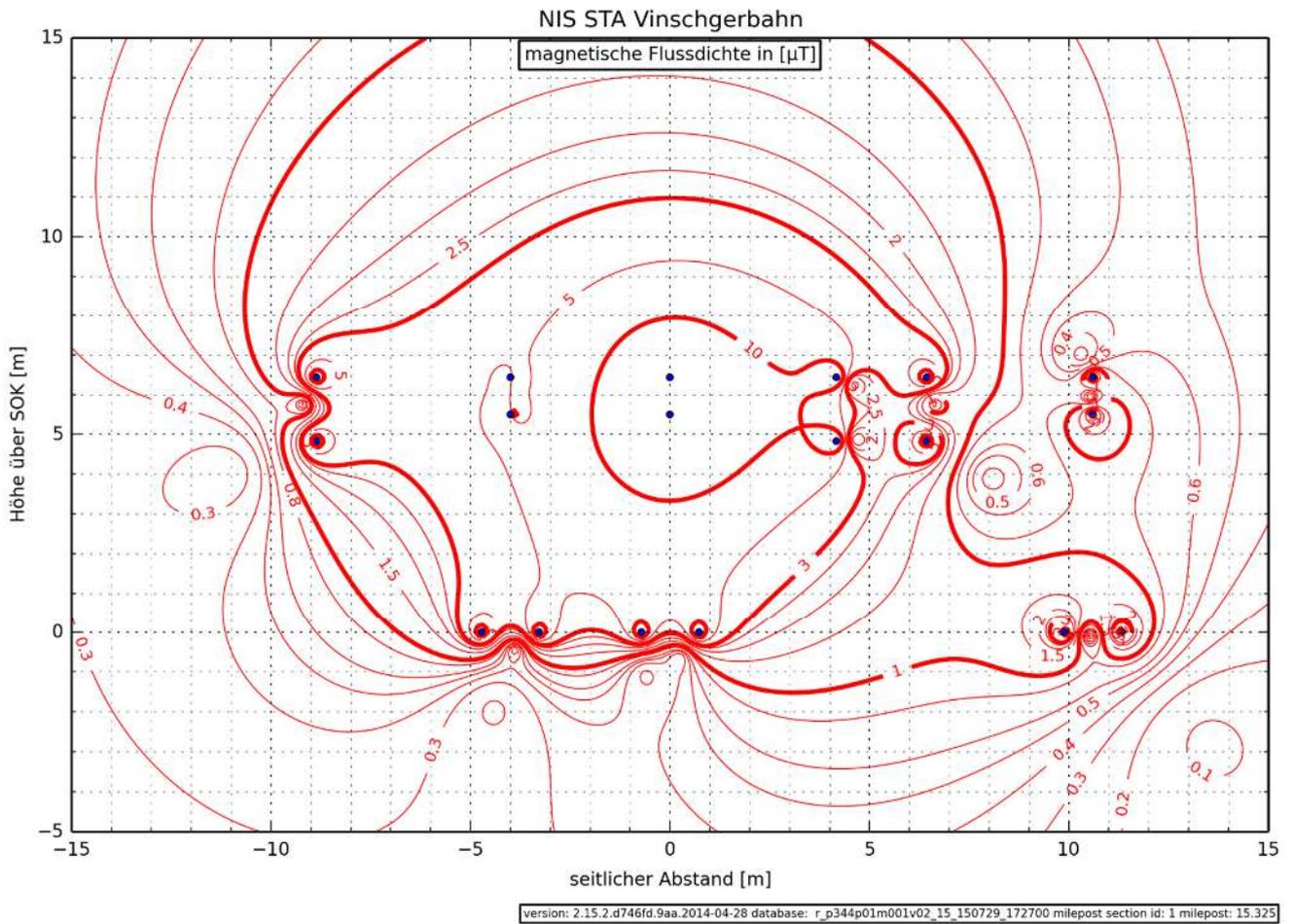


Abbildung 7-9: Linien konstanter Flussdichte bei Querprofil 8, Station mit seitlichem Mast Typ C, verursacht durch die Fahrstromanlagen. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.1.10 Speiseleitung

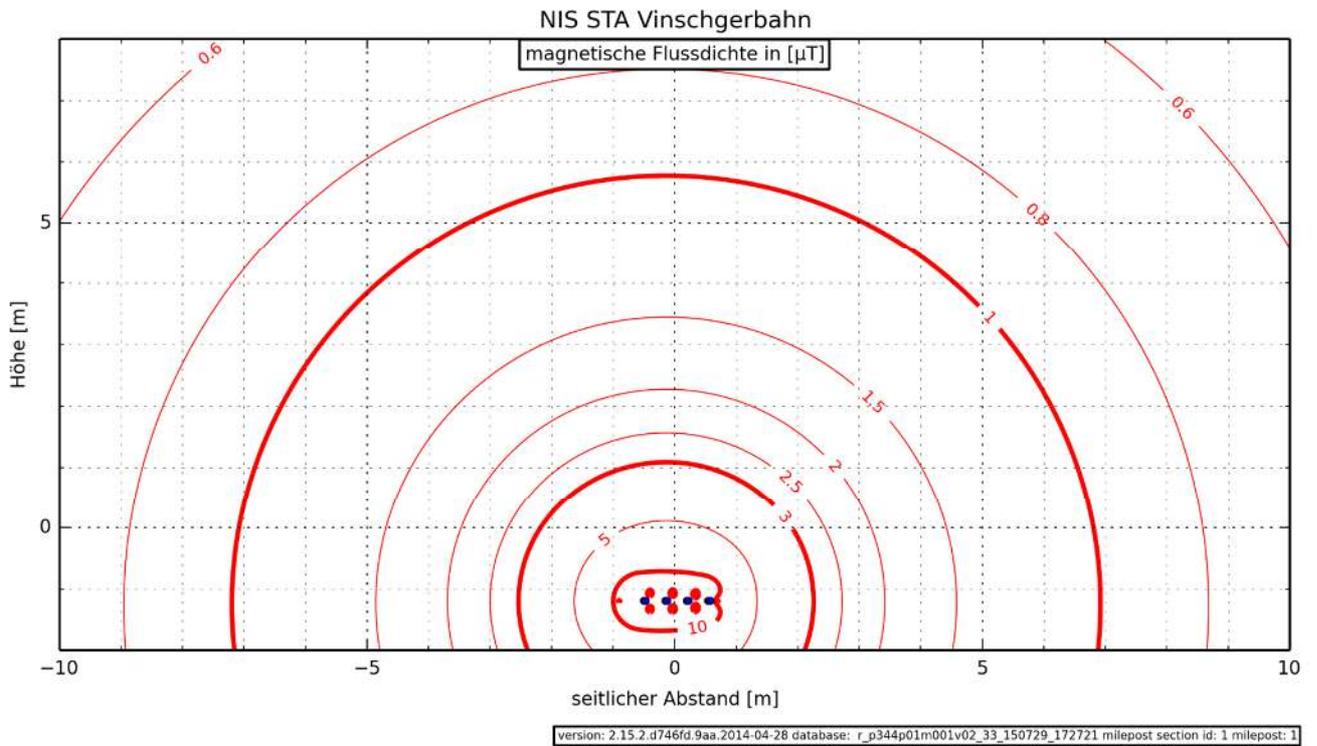


Abbildung 7-10: Linien konstanter Flussdichte verursacht durch die Speiseleitungen im Kabelrohrblock. Berechnet für einen Stromwert von 112 A gemäss Kapitel 5.1.

7.2 Magnetische Flussdichte an den OKA (Immissionen)

Tabelle 7-1 zeigt zusammenfassend die berechneten maximalen Werte der magnetischen Flussdichte an den modellierten Begrenzungen der OKA, verursacht durch die 25 kV Fahrleitungsanlagen und Speiseleitungen.

OKA Nr.	Bezeichnung	Referenzpunkt	Maximale magnetische Flussdichte am OKA [μ T]
1	Bodenniveau über dem Kabelrohrblock der Streckenspeisung und Speiseleitung.	Referenzachse (Kabelblockmitte), 1.2 m über Kabelleitungen	34
2	Bodenniveau bei der Fahrleitungsanlage bei einem Bahnübergang auf offener Einspurstrecke.	30 cm über den Fahrschienen	63*
3	Bei den Kabelaufstiegen an der Streckenspeisung.	Am Hinleiterkabel	> 100

Tabelle 7-1: Immissionswerte an den Orten kurzfristigen Aufenthalts

* Zu beachten gilt, dass unmittelbar an der leitenden Fahrschiene Werte von über 100 μ T auftreten. Die 100 μ T – Kurve liegt im Bereich von einigen Zentimetern um die Fahrschiene. Bei einem Abstand von 30 cm beträgt die magnetische Flussdichte noch ca. 63 μ T. Eine gleichmässige Einwirkung auf den ganzen menschlichen Körper ist bei einem Abstand kleiner als 30 cm nicht gegeben. Somit wird der Immissionsgrenzwert auch bei Bahnübergängen eingehalten.

Bei OKA 3, den Kabelaufstiegen in der Bahnhofhalle, beträgt der Abstand der 100 μ T – Kurve vom Leiter rund 70 cm, sofern der Rückstrom aus den streckenseitigen R ckleiterseilen am Mast / dem Aufstiegsger st parallel zu den Hinleitern in Kabeln geführt wird. Eine gleichmässige Einwirkung auf den ganzen menschlichen Körper ist bis zu einem Radius von ca. 20-30 cm möglich; der geforderte Grenzwert wird somit überschritten. Daher müssen die Kabelaufstiege so erstellt werden, dass eine Annäherung für nicht instruierte Personen nicht möglich ist. Dazu ist im öffentlichen Bereich eine Abschränkung notwendig.

Die Linien konstanter magnetischer Flussdichte an den OKA sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt. Die Leiter sind dabei als kleine blaue ausgef llte Punkte dargestellt. Linien konstanter magnetischer Flussdichte sind rot, wobei die Isolinien des Immissionsgrenzwerts von 100 μ T fett hervorgehoben sind. Blaue Linien stellen Begrenzungen (Boden o .) dar.

7.2.1 OKA 1

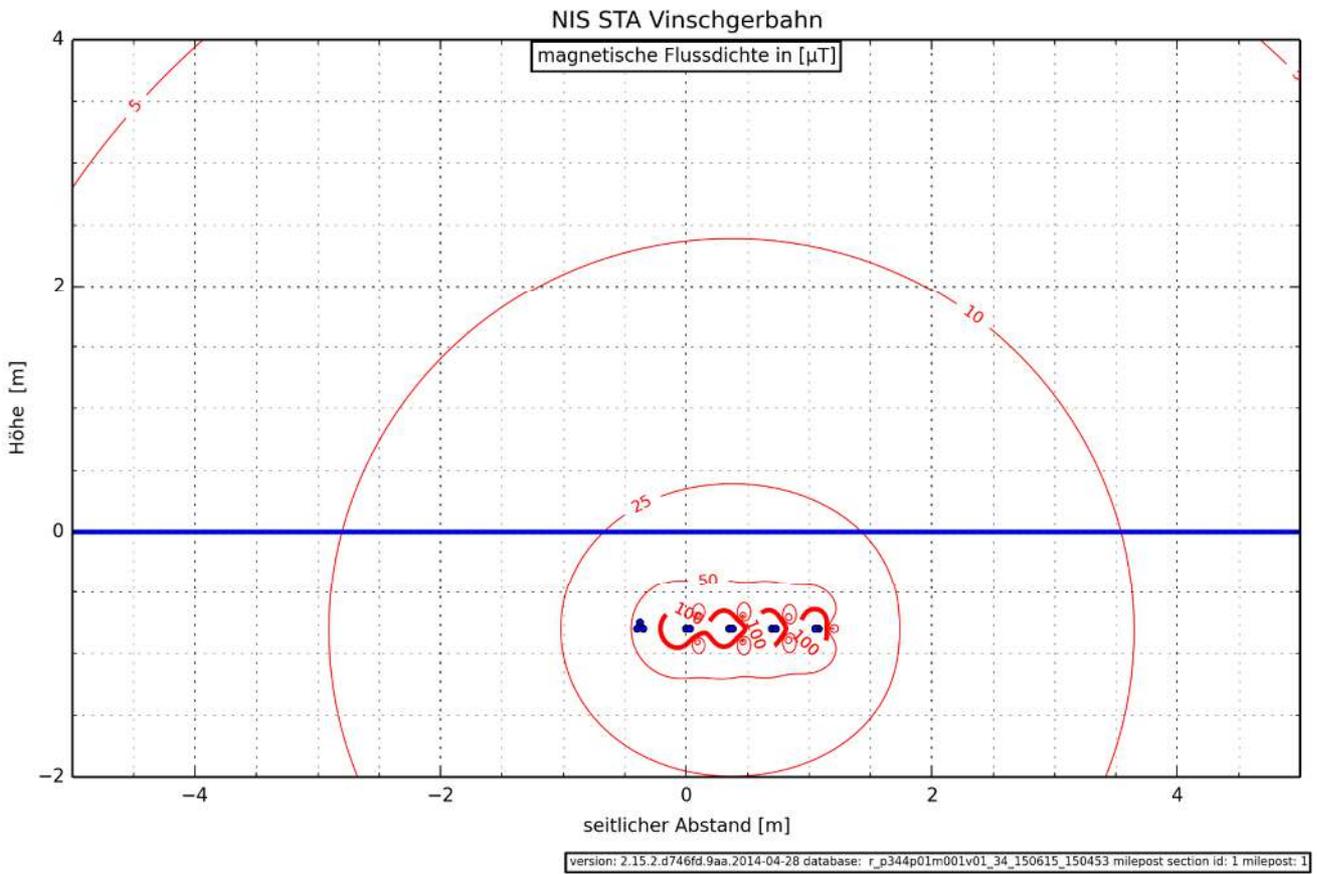


Abbildung 7-11: Linien konstanter Flussdichte am OKA 1, verursacht durch die Speise- und Rückleitungen. Berechnet anhand des Spitzen-Stromwerts. Blau Linie: Boden-Niveau

7.2.2 OKA 2

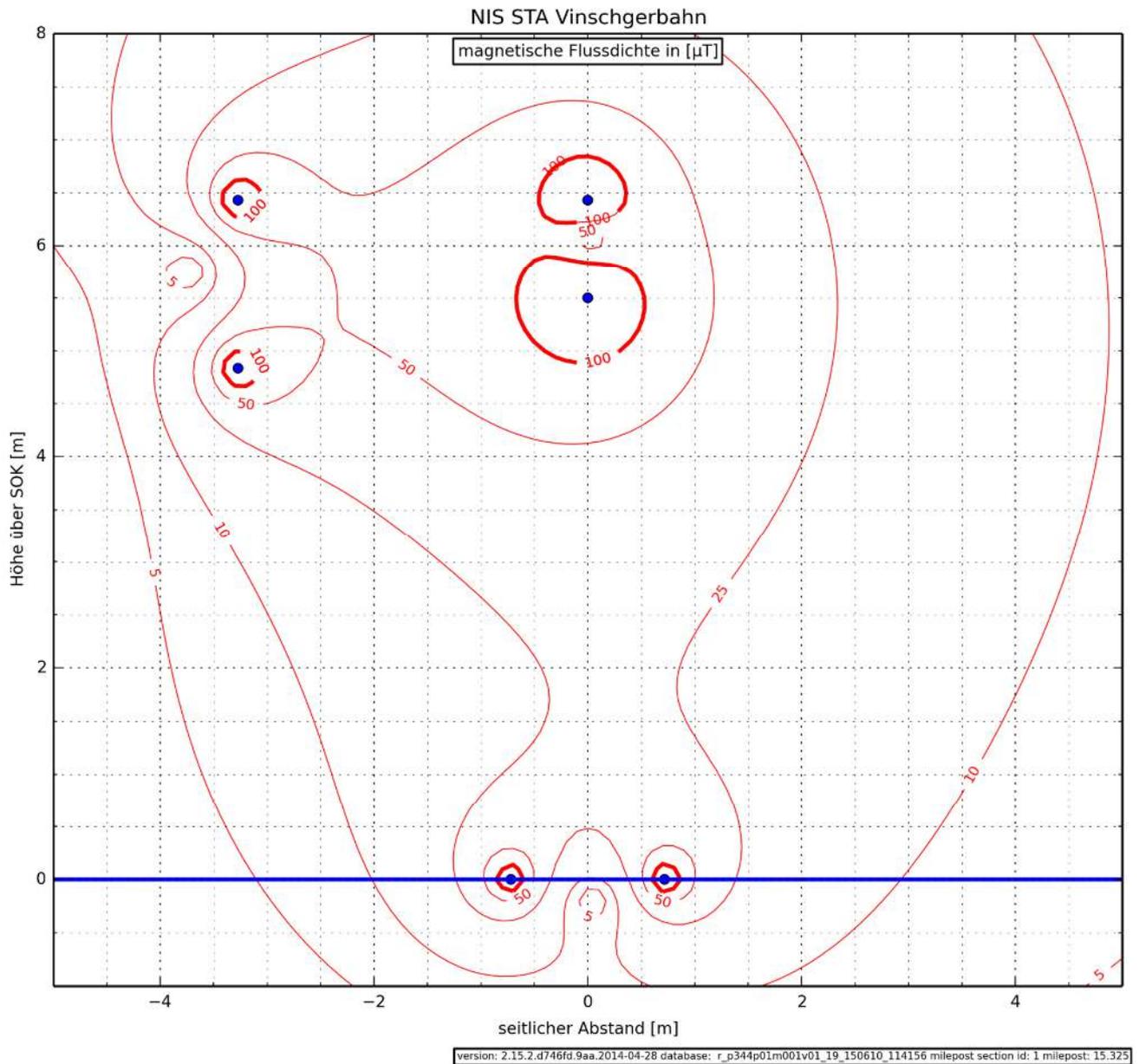


Abbildung 7-12: Linien konstanter Flussdichte am OKA 2, verursacht durch die Fahrleitungsanlage. Berechnet anhand des Spitzen-Stromwerts. Blau Linie: Boden-Niveau

7.2.3 OKA 3

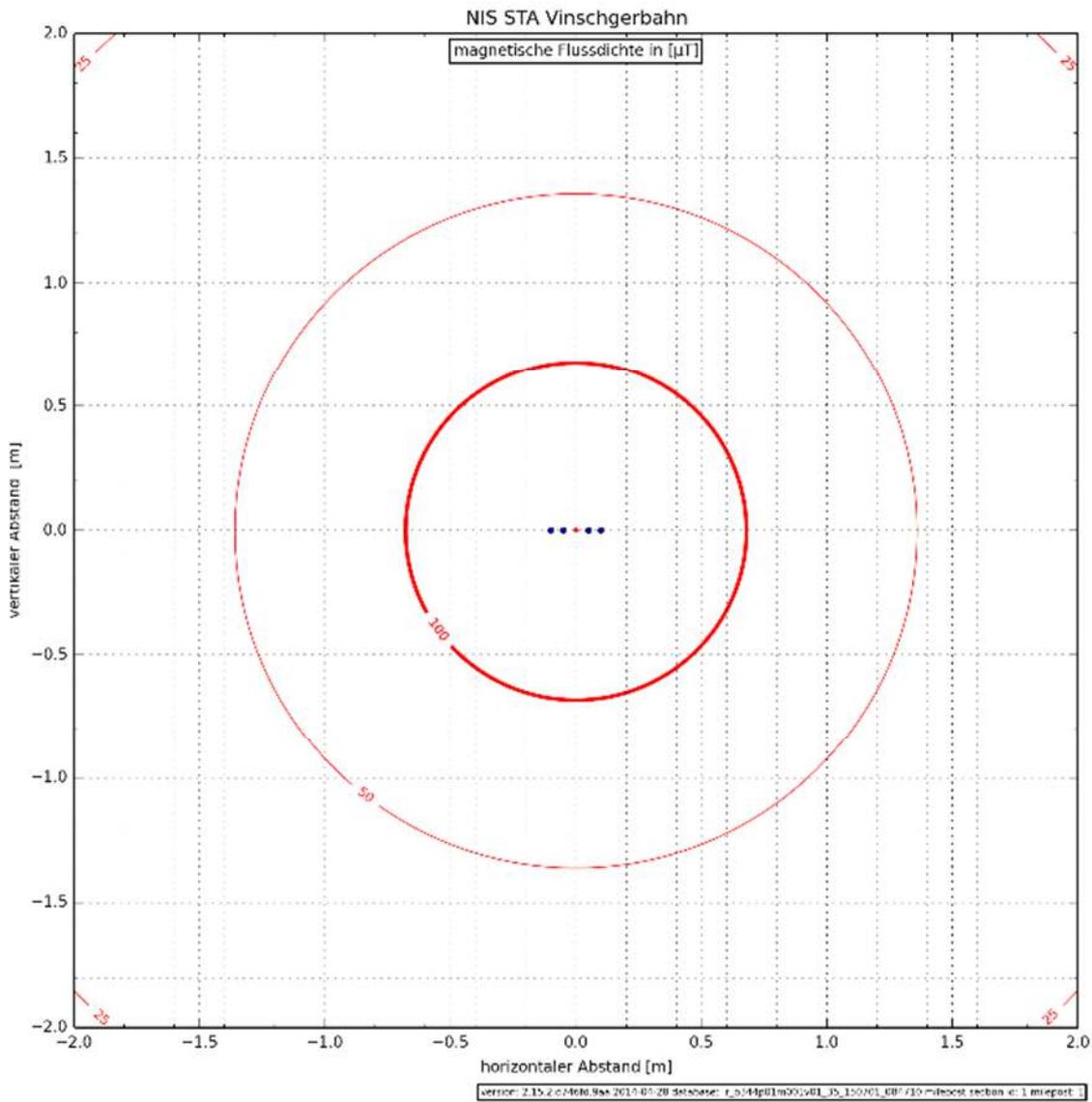


Abbildung 7-13: Linien konstanter Flussdichte am OKA 3, den Kabelaufstiegen mit Hinleiterkabeln und parallelen Rückleiterkabeln. Berechnet anhand des Strom-Spitzenwerts.

8 REFERENZEN

- [1] DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003: Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti. (GU n. 200 del 29-8-2003)
- [2] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV, SR 814.710), 23. Dezember 1999 (Stand am 1. September 2012)
- [3] IEC 50502-2:2005-3: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)
- [4] CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica Linee in cavo
- [5] CEI 11-60: Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne con tensione maggiore di 100 kV
- [6] Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti, Supplemento ordinario alla GAZZETTA UFFICIALE, 5. Giulio 2008, Agenzia per la protezione dell'ambiente per i servizi tecnici APAT,
- [7] ELE-024-01 Magnetic fields, Typische Querprofile und elektrische Schemata, Südtiroler Transportstrukturen AG STA, Index A vom 11. Mai 2015
- [8] Plan ELE-024 Magnetfeldnachweis von STA

ANHANG 1 IN DER SCHWEIZ BEWILLIGTE PROJEKTE MIT NIS-NACHWEIS

Nachfolgend sind einige Projekte aufgelistet, für welche durch ENOTRAC ein Konformitätsnachweis nach NISV [2] erstellt hat und die durch das schweizerische Bundesamt für Verkehr (BAV) bewilligt wurden oder dem BAV zur Bewilligung vorliegen. Der Konformitätsnachweis wurde mit derselben Berechnungsmethodik für den feldverursachenden Strom und die Emissionen erstellt, wie sie auch in vorliegender Studie verwendet wurde.

- BLS Linie Bern – Neuenburg: Rossh usern Tunnel, Bahnhof Ins, Fanel-Wald, Marin – Neuch tel
- BLS Gürbetal Linie: Wabern – Kehrsatz, Toffen – Kaufdorf, Umbau Bahnhof Thurnen, Umbau Bahnhof Burgistein-Wattenwil
- BLS Umbau Bahnhof Frutigen
- BLS Bahnstromleitung Gampel - Hohtenn
- BLS Hasle Rüegsau – Ramsei, Bahnhof Huttwil
- CEVA, Liaison ferroviaire Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse
- CFF, diverse Fahrleitungsumbauprojekte
- DB, Bahnhof Thayngen
- MGBahn, UL Visp – Herbruggen, diverse Fahrleitungsabschnitte
- RhB, Umbau diverser Bahnhöfe: Klosters, Samedan, Davos Platz, Landquart, St. Moritz usw.
- RhB, Anpassungen an der Bahnstromversorgung: Chur Langwies, Davos – Glaris
- SBB, Neubaustrecke Mattstetten – Rothrist
- SBB, Umelektrifizierung Knoten Genf
- SBB, Umbau Knoten Lausanne und 4. Gleis Lausanne – Renens
- SBB, Raum Brig
- SBB, Tunnel-Sanierung in St-Maurice und Sieders
- SBB, Entflechtung Fahrleitungsanlage Wylerfeld in Bern
- TPF, diverse Fahrleitungsumbauprojekte
- TransRUN, Neuch tel – La Chaux-de-Fonds
- Zb Zentralbahn, diverse Fahrleitungsumbauprojekte