

Müller-BBM GmbH  
Robert-Koch-Str. 11  
82152 Planegg bei München

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

www.MuellerBBM.de

Dr. rer. nat. Andrea Thiemann  
Telefon +49(89)85602 3458  
Andrea.Thiemann@mbbm.com

05. September 2013  
M109042/03 TIM/WDN

## **Neubaustrecke Tram Steinhausen**

### **Gleichrichterwerk Berg am Laim**

### **Beurteilung elektromagnetischer Felder gemäß 26. BImSchV und DIN VDE 0848-3**

### **Bericht Nr. M109042/03**

<b>Auftraggeber:</b>	Stadtwerke München GmbH 80287 München
<b>Auftragsnummer:</b>	4500148101/0701/B08
<b>Bearbeitet von:</b>	Dr. rer. nat. Andrea Thiemann Dr.-Ing. Gisbert Gralla
<b>Berichtsumfang:</b>	13 Seiten insgesamt, davon 9 Seiten Textteil, 2 Seiten Anhang A und 2 Seiten Anhang B

Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001  
Akkreditiertes Prüflaboratorium nach ISO/IEC 17025

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

Geschäftsführer: Horst Christian Gass,  
Dr. Carl-Christian Hantschk, Stefan Schierer  
Dr. Edwin Schorer, Norbert Suritsch

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Situation und Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Unterlagen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen, 26. BImSchV</b>	<b>6</b>
3.1	Zulässige Werte für Herzschrittmacherträger (DIN VDE 0848-3)	6
<b>4</b>	<b>Berechnung</b>	<b>7</b>
4.1	Grundlagen	7
4.2	Modellbildung	7
4.3	Berechnungsergebnisse	8
<b>5</b>	<b>Vergleich der Beurteilungswerte mit den zulässigen Werten</b>	<b>9</b>
	<b>Anhang A: 3D-Ansicht der Modellierung</b>	
	<b>Anhang B: Berechnungsergebnis</b>	

## Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH sind mit dem Stadtratsbeschluss vom 04.10.2012 gebeten worden, die Planung der im Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt München verankerten Neubaustrecke Tram Steinhausen bis zur Planfeststellung zu planen. In einer 2009 erstellten Machbarkeitsstudie sieht die Vorzugsvariante aus einer Variantenuntersuchung eine Verlängerung der Gleisanlage in der Einsteinstraße bis zur Kreuzung mit der Truderinger Straße (Vogelweideplatz) und im weiteren Verlauf in der Truderinger Straße bis zur Hultschiner Straße vor. Weiterhin werden zwei neue Gleichrichterunterwerke errichtet.

Dieser Bericht M109042/03 enthält die Beurteilung des Gleichrichterwerks Berg am Laim, ein weiterer Bericht (M109042/01) die Beurteilung der in diesem Zusammenhang neu zu errichtenden Gleisanlage.

### Ergebnis:

Die zulässigen Werte gemäß 26. BImSchV betragen 5 kV/m für die elektrische Feldstärke und 100  $\mu$ T für die magnetische Flussdichte. Die elektrische Feldstärke ist hier nicht relevant, da alle spannungsführenden Anlagenteile eingehaust sind und elektrische Felder damit vollständig abgeschirmt sind. Der zulässige Wert für die magnetische Flussdichte wird an der Außenwand des Gleichrichterumspannwerks an keiner zugänglichen Stelle erreicht oder überschritten. Der Maximalwert bei maximaler Anlagenauslastung beträgt 96,3  $\mu$ T.

Der zulässige Wert für Träger mit aktiven Körperhilfsmitteln beträgt 65  $\mu$ T, er ist somit (kleinräumig) im Bereich vor dem Gleichrichter überschritten. Wird mit einer Außenkonstruktion auf der Betonwand mit einer Dicke von 30 cm gerechnet, so ist der zulässige Wert von 65  $\mu$ T unterschritten.

### Anmerkung:

Bei einer Messung durch Müller-BBM (Prüfbericht M98667/03 vom 20.07.2012) wurden an den Gleichrichterwerken Effnerplatz und St. Emmeram in München an den Außenwänden vor den Gleichrichtern Maximalwerte von 25,7  $\mu$ T bzw. 21,5  $\mu$ T ermittelt. Diese Gleichrichterwerke haben den gleichen Typ Gleichrichter eingebaut, der auch für die hier durchgeführte Simulation verwendet wurde. Dies legt nahe, dass der hier ermittelte maximale Berechnungswert aufgrund der getroffenen worst-case-Annahmen höher ist als die später tatsächlich auftretende Immission. Es wird deshalb empfohlen, nach Fertigstellung des Gleichrichterwerkes eine Messung der magnetischen Flussdichte im Bereich des Gleichrichters durchzuführen.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich:


Dr. rer. nat. Andrea Thiemann  
Telefon +49 (0)89 85602-3458

Dr.-Ing. Gisbert Gralla  
Telefon +49 (0)89 85602-248



Durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH  
nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.  
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

**Hinweis:**

Dieser Prüfbericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM.

## 1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke München GmbH sind mit dem Stadtratsbeschluss vom 04.10.2012 gebeten worden, die Planung der im Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt München verankerten Neubaustrecke Tram Steinhausen bis zur Planfeststellung zu planen. In einer 2009 erstellten Machbarkeitsstudie sieht die Vorzugsvariante aus einer Variantenuntersuchung eine Verlängerung der Gleisanlage in der Einsteinstraße bis zur Kreuzung mit der Truderinger Straße (Vogelweideplatz) und im weiteren Verlauf in der Truderinger Straße bis zur Hultschiner Straße vor. Weiterhin werden zwei neue Gleichrichterunterwerke errichtet.

Dieser Bericht M109042/03 enthält die Beurteilung des Gleichrichterwerks Berg am Laim, ein weiterer Bericht (M109042/01) die Beurteilung der in diesem Zusammenhang neu zu errichtenden Gleisanlage.

## 2 Verwendete Unterlagen

- [1] 26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über elektromagnetische Felder vom 14. August 2013.
- [2] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, Länderausschuss für Immissionsschutz LAI, März 2004.
- [3] DIN VDE 0848-3-1: Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Teil 3-1: Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz. Entwurf, Mai 2002.
- [4] Planungsunterlage, Projekt TGW BAL (Berg am Laim), Aufstellungsplan, Entwurf, Version 3, Variante 2, SWM GmbH, 03.09.2013.
- [5] Planungsunterlage, Projekt Tram Steinhausen, TGW BAL (Berg am Laim), Schemaplan Entwurf, SWM GmbH, 03.09.2013.
- [6] Mittelspannungsschaltanlagen Betriebsanleitung, Mittelspannungsschaltanlage Typ 8DH10, bis 24 kV gasisoliert, anreihbar, Änderungsstand: 03 Siemens AG, 23.11.2006.
- [7] Gleichrichter, Bezeichnung: 3EGT 022021-GZ, Maßstab 1:10 Balfour Beatty Rail, 14.03.2011.

### 3 Rechtliche Grundlagen, 26. BImSchV

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

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

Die zulässigen Werte sind für die elektrische Feldstärke 5 kV/m und für die magnetische Flussdichte 100  $\mu$ T.

#### 3.1 Zulässige Werte für Herzschrittmacherträger (DIN VDE 0848-3)

Werden die zulässigen Werte für Herzschrittmacherträger überschritten, sind „geeignete Maßnahmen zu ergreifen, dass die betreffenden Personen nicht unbeabsichtigt in die betreffenden Bereiche geraten können“ (nach [3]). Hierzu genügen in der Regel Warnhinweise. Der Herzschrittmacherträger hat dann nach [3] die Einschränkung hinzunehmen, selbst die Warnungen zu beachten und den Aufenthalt in diesen Bereichen zu vermeiden. Für die Beurteilung werden dabei im Weiteren stets die zulässigen Werte für die Herzschrittmacherkategorie 1, „eingeschränkt störfest“ verwendet, da diese generell niedriger sind als die Werte für die Kategorie 0, „angemessen störfest“. Die Beurteilung erfolgt demnach so, dass auch Träger mit empfindlicheren Herzschrittmachern geschützt sind, wenn die zulässigen Werte nicht überschritten sind.

## 4 Berechnung

### 4.1 Grundlagen

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm WinField EP, Version 2013. Modelliert werden die Anlagenteile, die wesentlich zur Immission elektrischer und/oder magnetischer Felder beitragen. Es sind dies alle offenen, spannungsführenden Anlagenteile und alle Anlagenteile, die große Ströme führen.

Zur Berechnung der Immission werden dabei stets die Nennspannungen und die Nennströme der Anlagenteile verwendet oder die Ströme, die durch eine technisch bedingte Grenze auf Dauer nicht überschritten werden können. Sonderereignisse wie Kurzschlüsse in bestimmten Anlagenteilen werden nicht betrachtet. Bei allen betrachteten Anlagenteilen handelt es sich um Dreiphasensysteme. Es wird stets davon ausgegangen, dass die Systeme symmetrisch belastet sind, d. h. die Ströme in den drei Phasenleitern betragsmäßig gleich groß und um jeweils  $120^\circ$  bezüglich der Phase versetzt sind. Die Bezeichnungen L1, L2 und L3 beziehen sich dabei stets auf die Phasenlagen  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  und  $240^\circ$ .

Die Berechnung der elektrischen Feldstärke ist hier nicht erforderlich, da alle Anlagenteile eingehaust sind und die elektrische Feldstärke durch metallische Einhausungen vollständig abgeschirmt wird.

### 4.2 Modellbildung

Die nachfolgend beschriebenen Anlagenteile wurden auf der Grundlage der Planungsunterlagen [4] bis [7] modelliert.

1. Mittelspannungsschaltanlage  
Sammelschienen Höhe 0,43 m (L3), 0,665 m (L2), 0,9 m (L1)  
Modellstrom je Schiene 300 A (in Schränken A1.1 und A1.2) bzw. 100 A (in Schränken A2.1 bis B2.2), Modellspannung 10 kV.
2. Zwei 1,75 MVA Transformatoren 10 kV/610 V  
Sekundärseite: Modellstrom 1600 A, Modellspannung 610 V,  
Primärseite: Modellstrom 100 A, Modellspannung 10 kV.
3. Eigenbedarfstransformator 27 kVA, 610 V/400 V  
Sekundärseite: Modellstrom 40 A, Modellspannung 400 V,  
Primärseite: Modellstrom 25,6 A, Modellspannung 610 V.
4. Zwei Gleichrichter (nur einer stromführend),  
modelliert als drei Sammelschienen der Länge 70 cm in 0,15 m Höhe,  
Abstand 34 cm zur vorderen Schranktür, Abstand der Sammelschienen 12 cm,  
Hochführungen von Sammelschienen auf 1,98 m (L1), 1,38 m (L2) und 0,78 m (L3),  
Modellstrom je Schiene 1600 A bis auf Höhen von 1,625 m (L1),  
1,02 m (L2) und 0,42 m (L3), danach 800 A, Modellspannung 610 V.
5. Hauptzuleitung zur Mittelspannungsschaltanlage von außerhalb des Gebäudes  
in -0,8 m Höhe, Verlegung gemäß [4],  
Modellstrom je Leiter 300 A bei Zu- und Ableitung, Modellspannung 10 kV,  
Kabeltyp NA2XSEY 3\*120RM/16.

6. Verbindung 10-kV-Verteilung und Transformator (jeweils 1 Kabel pro Phase), auf kürzestem Weg im Kabelkeller auf -0,8 m, Hochleitung an der Außenwand, Anschluss am Transformator in Höhe 1,728 m, Modellstrom je Leiter 100 A, Modellspannung 10 kV, Kabeltyp 3 x N2XSH 1\*95/16 mm<sup>2</sup> 6/10 kV.
7. Verbindung Transformator und Gleichrichter (jeweils 4 Kabel pro Phase) an der Innenwand durch den Kabelkeller in -0,8 m und von unten Zuführung zum Gleichrichter, Ableitung vom Transformator in Höhe 1,728 m, Modellstrom 400 A, Modellspannung 610 V, Kabeltyp N2XH 1\*300 mm<sup>2</sup>.
8. Ableitung vom Transformator 1 zum Eigenbedarfstransformator auf Höhe der Ableitung vom Transformator an der Wand zum Eigenbedarfstransformator, Ableitung vom Transformator in Höhe 1,728 m, Modellstrom 25,6 A. Modellspannung 610 V, Kabeltyp N2XH 1\*95 mm<sup>2</sup>.

Die Geometrie der Modellierung ist im Anhang A dargestellt.

#### 4.3 Berechnungsergebnisse

Das Ergebnis ist als Isofläche der magnetischen Flussdichte im Anhang B dargestellt (Berechnungsauflösung 0,1 m x 0,1 m, Berechnungshöhe 1,2 m).

Der Maximalwert der magnetischen Flussdichte wird an der Außenwand bei den Gleichrichtern bei höchster betrieblicher Auslastung der Anlagen in 1,2 m Höhe erreicht und beträgt hier 96,3 µT (direkt an der Betonwand, die tatsächliche Außenfassade kann zusätzlich zwischen 5 und 30 cm auf der Betonwand betragen).

## 5 Vergleich der Beurteilungswerte mit den zulässigen Werten

Die zulässigen Werte betragen gemäß 26. BImSchV 5 kV/m für die elektrische Feldstärke und 100  $\mu\text{T}$  für die magnetische Flussdichte. Die elektrische Feldstärke ist hier nicht relevant, da alle spannungsführenden Anlagenteile eingehaust sind und elektrische Felder damit vollständig abgeschirmt sind. Der zulässige Wert für die magnetische Flussdichte wird an der Außenwand des Gleichrichterumspannwerks an keiner zugänglichen Stelle erreicht oder überschritten. Der Maximalwert bei maximaler Anlagenauslastung beträgt 96,3  $\mu\text{T}$ .

Der zulässige Wert für Träger mit aktiven Körperhilfsmitteln beträgt 65  $\mu\text{T}$ , er ist somit (kleinräumig) im Bereich vor dem Gleichrichter überschritten. Wird mit einer Außenkonstruktion auf der Betonwand mit einer Dicke von 30 cm gerechnet, so ist der zulässige Wert von 65  $\mu\text{T}$  unterschritten.

Anmerkung:

Bei einer Messung durch Müller-BBM (Prüfbericht M98667/03 vom 20.07.2012) wurden an den Gleichrichterwerken Effnerplatz und St. Emmeram in München an den Außenwänden vor den Gleichrichtern Maximalwerte von 25,7  $\mu\text{T}$  bzw. 21,5  $\mu\text{T}$  ermittelt. Diese Gleichrichterwerke haben den gleichen Typ Gleichrichter eingebaut, der auch für die hier durchgeführte Simulation verwendet wurde. Dies legt nahe, dass der hier ermittelte maximale Berechnungswert aufgrund der getroffenen worst-case-Annahmen höher ist als die später tatsächlich auftretende Immission. Es wird deshalb empfohlen, nach Fertigstellung des Gleichrichterwerkes eine Messung der magnetischen Flussdichte im Bereich des Gleichrichters durchzuführen.

## Anhang A

### 3D-Ansicht der Modellierung

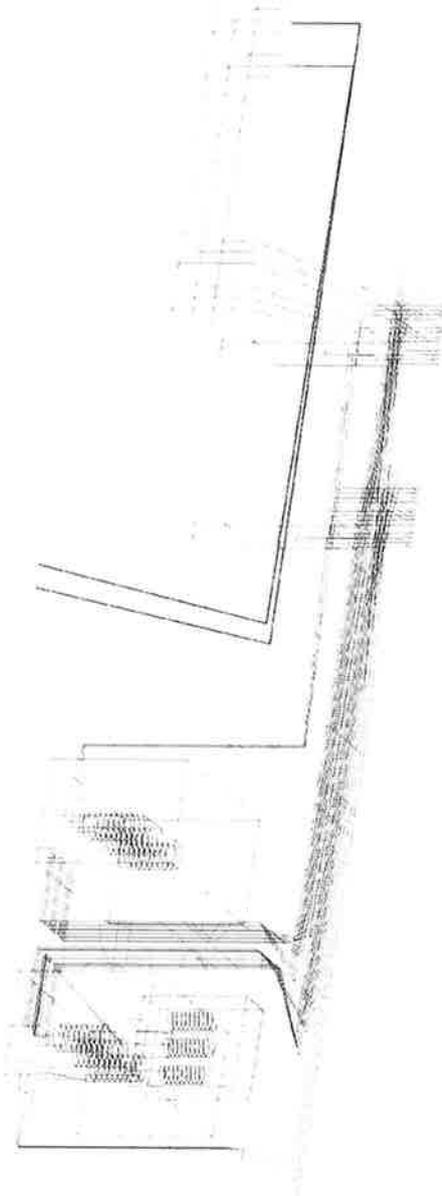


Abbildung A 1. 3D-Ansicht der Modellierung.

**Anhang B**  
**Berechnungsergebnis**

S:\MIPROJ\109\M109042\M109042\_03\_BER\_2D.DOC:28. 03. 2014

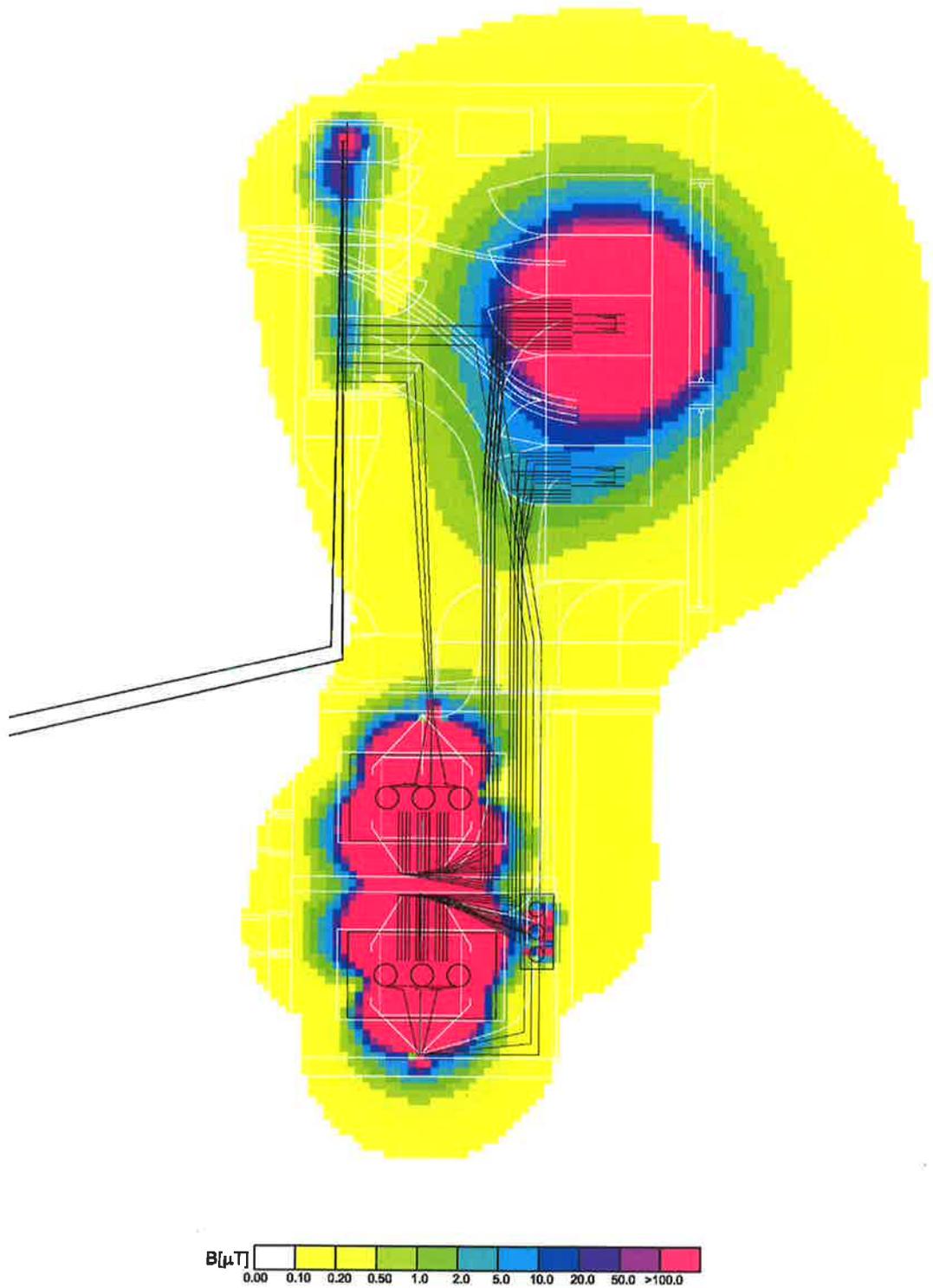


Abbildung B 1. Berechnungsergebnis.