

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

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

www.MuellerBBM.de

M. Sc. Frank Dauenhauer  
Telefon +49(89)85602 3299  
Frank.Dauenhauer@mbbm.com

02. Oktober 2018  
M117845/02 DNH/WDN

## **Projekt Neubaustrecke Tram Westtangente**

### **Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit**

**Bericht Nr. M117845/02 – Rev. 01**

<b>Auftraggeber:</b>	Stadtwerke München GmbH 80287 München
<b>Bearbeitet von:</b>	M. Sc. Frank Dauenhauer Dr.-Ing. Gisbert Gralla
<b>Berichtsumfang:</b>	20 Seiten insgesamt, davon 14 Seiten Textteil und 6 Seiten Anhang

Diese Fassung des Berichts ersetzt die Version vom 3. Juli 2018.

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

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

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Situation und Aufgabenstellung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Verwendete Literatur</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	<b>8</b>
3.1	Schutz der Anwohnerschaft	8
3.2	Träger aktiver oder passiver Körperhilfsmittel	9
3.3	Störungen von elektrischen Geräten	9
3.4	Technischer Hintergrund und Grenzwerte	10
3.4.1	Grenzwerte für den Schutz der Allgemeinheit bzw. Träger aktiver Körperhilfsmittel	10
3.4.2	Schutz von elektrischen Geräten	10
3.4.3	Magnetfeldempfindliche Geräte	11
3.5	Zusammenfassung der Grenzwerte	11
<b>4</b>	<b>Berechnung der elektrischen und magnetischen Felder</b>	<b>12</b>
4.1	Grundlagen	12
4.2	Berechnungsunsicherheit	12
4.3	Modellbildung	12
<b>5</b>	<b>Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Anforderungen</b>	<b>14</b>

**Anhang:** Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke

## Zusammenfassung

Die Stadtwerke München GmbH plant das Projekt Neubaustrecke Tram Westtangente. Im Zuge des Neubaus werden neue Gleisanlagen und Fahrdrableitungen entstehen. Es ist mit der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Umgebung der neuen Straßenbahnstrecke zu rechnen.

Für die Planfeststellung sollte die elektromagnetische Verträglichkeit des Straßenbahnbetriebes mit der angrenzenden schutzbedürftigen Bebauung nach den Kriterien des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) sowie hinsichtlich der Störungen magnetisch empfindlicher Geräte untersucht werden.

Die Untersuchung sollte sich beziehen auf

- den Schutz von Personen und
- den Schutz von elektrischen Geräten.

Dazu sollten die von der Strecke (ohne Gleichrichtwerke) zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder prognostiziert und hinsichtlich der oben genannten Schutzgüter beurteilt werden.

### Ergebnis:

Die Grenzwerte zum Schutz von Personen (26. BImSchV bzw. Europäische Ratsempfehlung 1999/519/EG) sind im gesamten zugänglichen Bereich der Bahnanlage eingehalten.

Auch die Grenzwerte für Herzschrittmacherträger gemäß FB 451 sind nahezu im gesamten zugänglichen Bereich der Bahnanlage eingehalten (Abstand ca. 33 cm von den Gleisen ausreichend).

Elektrische Geräte und Anlagen im nichtmedizinischen Bereich werden durch die hier auftretenden Gleichfelder bzw. langsam veränderliche Felder nicht gestört. Im medizinischen Bereich können insbesondere MRT-Geräte bis zu einem Abstand von 50 m gestört werden.

### Anmerkung:

Im Bereich der Strecke befindet sich mindestens eine radiologische Praxis (Fürstenerieder Straße 62), in der ein gegenüber Magnetfeldern empfindlicher Kernspintomograph betrieben wird. Die Beurteilung erfolgt in einem gesonderten Bericht.

Für den Inhalt des vorliegenden Berichtes zeichnen verantwortlich:



M. Sc. Frank Dauenhauer  
– Projektverantwortlicher –



Dr.-Ing. Gisbert Gralla  
– Prüfgebietsleiter –

Von der Regierung von Oberbayern  
öffentlich bestellter und beeidigter Sachverständiger  
für Elektromagnetische Umweltverträglichkeit

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



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

## 1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke München GmbH plant das Projekt Neubaustrecke Tram Westtangente. Im Zuge des Neubaus werden neue Gleisanlagen und Fahrdrabtleitungen entstehen. Es ist mit der Einwirkung von elektromagnetischen Feldern auf die Umgebung der neuen Straßenbahnstrecke zu rechnen.

Für die Planfeststellung ist die elektromagnetische Verträglichkeit des Straßenbahnbetriebes mit der angrenzenden schutzbedürftigen Bebauung nach den Kriterien des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) sowie hinsichtlich der Störungen magnetisch empfindlicher Geräte zu untersuchen.

Die Untersuchung soll sich beziehen auf

- den Schutz von Personen und
- den Schutz von elektrischen Geräten.

Dazu sollen die von der Strecke (ohne Gleichrichtwerke) zu erwartenden elektrischen und magnetischen Felder prognostiziert und hinsichtlich der oben genannten Schutzgüter beurteilt werden.

## 2 Verwendete Literatur

- [1] 26. BImSchV: 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über elektromagnetische Felder vom 21. August 2013.
- [2] ISO/IEC Guide 98-3:2008-09: Messunsicherheit – Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM).
- [3] Europäische Ratsempfehlung 1999/519/EG, Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Felder (0 Hz – 300 GHz)
- [4] Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz LAI, September 2014.
- [5] Forschungsbericht 451: Elektromagnetische Felder am Arbeitsplatz, Sicherheit von Beschäftigten mit aktiven und passiven Körperhilfsmitteln bei Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Januar 2015.
- [6] Elektromagnetische Felder – Hochfrequenzanlagen, Info-Blatt zur Umsetzung der Anforderung nach § 3 Nr. 3, 26. BImSchV Niederfrequenzanlagen, Bundesnetzagentur, Referat 414, 55122 Mainz, April 2014.
- [7] 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 (zurückgezogenes Dokument).
- [8] DIN EN 50527-2-1: Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren Geräten (AIMD) gegenüber elektromagnetischen Feldern – Teil 2-1: Besondere Beurteilung für Arbeitnehmer mit Herzschrittmachern, Dezember 2017.
- [9] DIN EN 50413/A1; VDE 0848-1/A1: Grundnorm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz), Juli 2014.
- [10] Hersteller-Zertifikat (Genauigkeit der Feld-, Leistungsflussdichte- und Schallpegelberechnung), Winfield/EFC-400 – Electrical and Magnetic Field Calculation Version  $\geq$  V2018, 01.09.2017.
- [11] DIN EN 50121-2:2017-11; VDE 0115-121-2:2017-11: Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt, Deutsche Fassung EN 50121-2:2017.
- [12] DIN EN 61000-6-1; VDE 0839-6-1: 2007-10: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe. Deutsche Fassung EN 61000-6-1: 2007.

- [13] DIN EN 61000-6-2 Berichtigung 1:2011-06; VDE 0839-6-2 Berichtigung 1:2011-06: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereiche (IEC 61000-6-2:2005); Deutsche Fassung EN 61000-6-2:2005, Berichtigung zu DIN EN 61000-6-2 (VDE 0839-6-2):2006-03; Deutsche Fassung CENELEC-Cor.: :2005 zu EN 61000-6-2:2005.
- [14] Planungsunterlage: Lageplan  
Titel: Westtangente Umgebungsplan  
Zeichnungsnummer: ---  
Maßstab ---, Stand: ---, ---.
- [15] Planungsunterlage: Lageplan  
Titel: Westtangente Streckenverlauf  
Zeichnungsnummer: ---  
Maßstab ---, Stand: ---, ---.

### 3 Rechtliche Grundlagen

#### 3.1 Schutz der Anwohnerschaft

##### 26. BImSchV [1]:

Die 26. BImSchV enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch elektromagnetische Felder. Hinweise zur Messung und Berechnung finden sich in den Hinweisen zur Durchführung dieser Verordnung [4]. 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 sind die elektrische Feldstärke und die magnetische Flussdichte bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln. Diese „höchste betriebliche Auslastung“ ist laut 26. BImSchV nicht durch die tatsächlich zu erwartende maximale Auslastung, sondern durch eine technische Grenze (Nennleistung) definiert.

Außerdem ist die Vorbelastung durch andere Nieder- und Hochfrequenzanlagen zu berücksichtigen. Bei den Hochfrequenzanlagen genügt es dabei, ortsfeste Anlagen mit einer Sendeleistung von mehr als 10 Watt EIRP und Frequenzen zwischen 9 kHz und 10 MHz zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich in der Regel um Rundfunksender im Kurz-, Mittel- und Langwellenbereich. Gemäß [6] genügt es, Anlagen zu betrachten, die sich näher als 300 m an der Niederfrequenzanlage befinden.

##### Europäische Ratsempfehlung 1999/519/EG [3]:

In Fällen, in denen die 26. BImSchV nicht anwendbar ist (hier elektrische und magnetische Felder im Bereich  $0 < f < 1$  Hz), kann die Europäische Ratsempfehlung 1999/519/EG zur Beurteilung herangezogen werden, die Grenzwerte für den gesamten Frequenzbereich zwischen 0 Hz bis 300 GHz enthält.

### 3.2 Träger aktiver oder passiver Körperhilfsmittel

Weder die 26. BImSchV noch die Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Felder enthalten in der Praxis anwendbare Grenzwerte für Träger aktiver oder passiver Körperhilfsmittel. Nachdem auch die DIN VDE 0848-3-1 (Schutz von Personen mit aktiven Körperhilfsmitteln) [7] zurückgezogen wurde und DIN EN 50527-2-1 (Verfahren zur Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern mit aktiven implantierbaren Geräten gegenüber elektromagnetischen Feldern) [8] keine Grenzwerte angibt, gibt es derzeit keine rechtliche Vorschrift zur Beurteilung von Arbeitsplätzen für Herzschrittmacherträger. Der Stand des Wissens ist jedoch im Forschungsbericht FB 451 [5] zusammengetragen, in dem auch Schwellenwerte für elektrische und magnetische Feldstärken (bzw. Flussdichten) für aktive und passive Körperhilfsmittel angegeben sind. Sind diese Schwellenwerte nicht überschritten, kann davon ausgegangen werden, dass die Sicherheit der entsprechenden Personen gewährleistet ist. Im Weiteren werden lediglich die (stets niedrigeren) Grenzwerte für Träger aktiver Körperhilfsmittel herangezogen.

### 3.3 Störungen von elektrischen Geräten

Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf elektrische Geräte basiert – genau wie die Wirkungen auf den Menschen – ebenfalls darauf, dass Spannungen und Ströme in leitfähigen Materialien induziert werden, die dann ihrerseits Wirkungen auf die Geräte haben und Störungen verursachen können. Aus diesem Grund ist auch die Einwirkung elektrischer und magnetischer Felder auf elektrische Geräte nicht in beliebiger Höhe zulässig. Die Regelungen hierzu sind in dem Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG), festgelegt, das seinerseits auf die harmonisierten Normen für die einzelnen Gerätearten – sofern solche vorhanden sind – verweist. Eine dieser hier relevanten Normen ist DIN EN 50121-2: Elektromagnetische Verträglichkeit – Teil 2: Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt [11], die sich allerdings nur auf den Hochfrequenzbereich bezieht. Um auch für den hier insbesondere relevanten Niederfrequenzbereich Immissionswerte anzugeben, bei denen elektrische Geräte nicht gestört werden, kann DIN EN 61000-6-1: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe [12], und DIN EN 61000-6-2: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Teil 6-1: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereich [13] verwendet werden.

Um zu beurteilen, ob besonders magnetfeldempfindliche Geräte gestört werden, sind die jeweiligen Empfindlichkeiten der Geräte zu verwenden. Für medizinische Geräte, insbesondere Kernspintomographen, können entsprechende Werte den Herstellerangaben für die jeweiligen Geräte entnommen werden.

### 3.4 Technischer Hintergrund und Grenzwerte

Die hier zu beurteilenden Straßenbahnanlagen werden mit einer Gleichspannung von 750 V betrieben. Im Umfeld der Anlage entsteht deshalb ein elektrisches Gleichfeld, das nur sehr geringe Schwankungen entsprechend den Schwankungen der Betriebsspannung aufweist. Die Frequenz des Feldes kann somit zu **0 Hz** angenommen werden. Das Magnetfeld im Umfeld der Anlage ist nicht konstant, sondern ändert sich entsprechend den aktuell in den Fahrdrähten bzw. den Schienen fließenden Strömen. Die Änderungen sind entsprechend dem Fahrbetrieb der Züge (Beschleunigung – konstante Fahrt – Abbremsen) langsam und es kann ihnen eine Frequenz zwischen **0 Hz und 1 Hz** zugeordnet werden.

#### 3.4.1 Grenzwerte für den Schutz der Allgemeinheit bzw. Träger aktiver Körperhilfsmittel

Tabelle 1. Grenzwerte für den Effektivwert der magnetischen Flussdichte (Straßenbahn).

Frequenzbereich	Schutz der Allgemeinheit (Europäische Ratsempfehlung bzw. 26. BImSchV)	Träger aktiver Körperhilfsmittel (FB 451)
	Grenzwert	Grenzwert
0 Hz < $f \leq$ 1 Hz	40 mT	697 $\mu$ T

Tabelle 2. Grenzwerte für die elektrische Feldstärke (Straßenbahn).

Frequenz	Schutz der Allgemeinheit (Europäische Ratsempfehlung)	Träger aktiver Körperhilfsmittel (FB 451)
	Spitzenwert	Spitzenwert
$f = 0$ Hz	25 kV/m*	28,3 kV/m

\* Weder in der 26. BImSchV noch in der Europäischen Ratsempfehlung wird ein Grenzwert für die elektrische Feldstärke bei einer Frequenz von 0 Hz angegeben. In der Europäischen Ratsempfehlung findet sich lediglich der Hinweis, dass von den meisten Menschen elektrische Oberflächenladungen bei elektrischen Feldstärken unterhalb von 25 kV/m als nicht störend empfunden werden.

#### 3.4.2 Schutz von elektrischen Geräten

Die in [12] und [13] genannten Störfestigkeitswerte für elektrische Geräte sind nur für Wechselfelder der Frequenz 50 Hz angegeben. Für langsam veränderliche oder statische Felder sind dort keine Grenzwerte angegeben. Betrachtet man den physikalischen Hintergrund der Störbeeinflussung von elektrischen Geräten, wie unter 3.3 dargestellt, dass nämlich die Störungen aufgrund induzierter Spannungen und induzierter Ströme erfolgen, und berücksichtigt, dass die Induktionswirkung grundsätzlich proportional der Frequenz ist, so wird verständlich, dass Gleichfelder oder sehr langsam veränderliche Felder auch nicht in der Lage sind, elektrische Geräte zu stören.

### 3.4.3 Magnetfeldempfindliche Geräte

Es gibt einige wenige elektrische Geräte, die nicht durch die oben beschriebenen induzierten Spannungen und Ströme gestört werden, sondern unmittelbar durch veränderliche Magnetfelder. Es handelt sich dabei um Geräte, die mit Elektronenstrahlen arbeiten oder bei denen selbst erzeugte Magnetfelder zum Funktionsprinzip gehören. Geräte, die mit Elektronenstrahlen arbeiten, sind (inzwischen nur noch selten in Betrieb befindliche) Bildschirme mit Kathodenstrahlröhren, ferner (hier nicht weiter behandelte) Elektronenmikroskope und Elektronenstrahlolithographiegeräte. Geräte, bei denen selbst erzeugte Magnetfelder zum Funktionsprinzip gehören, sind z. B. Magnet-Resonanz-Tomographiegeräte (MRTs).

Um eine Abschätzung über möglicherweise auftretende Störungen bei MRT-Geräten zu erhalten, wurden Angabe zur Störfestigkeit solcher Geräte der Fa. General Electric verwendet. Die Angaben liegen für 50-Hz-Felder je nach Gerätetyp zwischen  $0,2 \mu\text{T}$  und  $4 \mu\text{T}$  (Effektivwerte). Bei langsam veränderlichen Feldern liegen die Angaben zwischen  $0,37 \mu\text{T}$  und  $2,82 \mu\text{T}$  (Spitze-Spitze-Werte). Auch ist jeweils nicht die Frequenz der Änderung bzw. die Änderungsgeschwindigkeit relevant, sondern unmittelbar die Magnetfeldamplitude.

### 3.5 Zusammenfassung der Grenzwerte

Die oben angegebenen Grenzwerte sind im Folgenden zusammengefasst.

Die Angabe „k. A.“ bedeutet, dass in den entsprechenden Vorschriften oder Normen hierzu keine Angaben gemacht sind und diese Geräte gegenüber den hier relevanten Gleichfeldern bzw. langsam veränderlichen Feldern nicht empfindlich sind.

Zur Verbindlichkeit der Grenzwerte ist anzumerken, dass nur die Werte zum Schutz von Personen eingehalten werden müssen. Werden die Werte für Herzschrittmacherträger überschritten, sind Warnhinweise aufzustellen. Die anderen Werte sind informativ.

Tabelle 3. Grenzwerte für elektromagnetische Felder in der Umgebung einer gleichspannungsbetriebenen Straßenbahnstrecke.

	Magnetische Flussdichte $B$	Elektrische Feldstärke $E$
Schutz der Allgemeinheit	40 mT	25 kV/m
Träger aktiver Körperhilfsmittel	697 $\mu\text{T}$	28,3 kV/m
Störfestigkeit Geräte im Industriebereich	k. A.	k. A.
Störfestigkeit Geräte im Wohn- und Geschäftsbereich	k. A.	k. A.
Kernspintomographen	0,37 $\mu\text{T}$ – 2,82 $\mu\text{T}$	k. A.

## 4 Berechnung der elektrischen und magnetischen Felder

### 4.1 Grundlagen

Die Berechnung erfolgt mit dem Programm WinField EP, Version 2018 auf Grundlage der DIN EN 50413 [9]. 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. Es wird dabei stets davon ausgegangen, dass diese Systeme symmetrisch belastet sind.

### 4.2 Berechnungsunsicherheit

Die Unsicherheit der Feldberechnung beträgt gemäß [10] maximal 1,4 %.

Zusätzliche Unsicherheiten der Modellierung bleiben im Weiteren unberücksichtigt.

### 4.3 Modellbildung

Für den Neubau des Tram Westtangente wurden die nachfolgend beschriebenen Anlagenteile gemäß [14] und [15] modelliert.

#### Tram Westtangente

Schienenabstand:	1435 mm
Fahrdrahthöhe:	5500 mm
Maximalstrom (Dauerbelastung):	2333,33 A
Fahrdrahtspannung:	750 V

#### Annahmen:

- Im Sinne einer Worst-Case-Abschätzung wurde in der Modellierung der maximale Strom, den ein Unterwerk dauerhaft liefern kann, in einen Fahrdraht gespeist. Die daraus resultierenden elektromagnetischen Felder stellen somit eine im realen Betriebsfall höchstens zu erreichende Obergrenze dar. Die maximale Leistung des Unterwerks beträgt 1,75 MVA und entspricht dem oben angegebenen Maximalstrom (Angaben der SWM).
- Im Bereich kreuzender Trambahnstrecken (Ammerseestraße, Agnes-Bernauer-Straße und Arnulfstraße im Bereich Romanplatz) wurde der gesamte Strom, den die Unterwerke liefern können, auf alle Streckenabschnitte eingespeist, auch wenn dies zu einer Überschätzung der tatsächlich zu erwartenden Immission führt. Im realen Betriebsfall teilt sich der gesamte Strom auf die beteiligten Teilstrecken (gemäß der jeweiligen Streckenauslastung) auf.

- Die mehrere Meter unter der Trambahnstrecke kreuzenden U-Bahn Strecken (U5 und U6 im Bereich der Gotthardstraße bzw. Ehrwalder Straße) wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Da die Abstände der gesundheitlich relevanten Bereiche ähnlich gering wie die bei der Trambahnstrecke sind (wenige Dezimeter), ist eine Berücksichtigung der Überlagerung der Immission nicht erforderlich.
- Bei einer Schienenhöhe von 18,0 cm und einem angenommenen Stromverlauf in der Mitte der Schiene kann sich eine Person maximal bis auf 9,0 cm an die Feldquelle annähern.

Die Geometrie der Modellierung ist im Anhang dargestellt.

Die Berechnung wurde für die elektrische Feldstärke in 2 m und die magnetische Flussdichte in 2 m und 0 m Höhe durchgeführt.

Die Berechnungsauflösung beträgt jeweils 2,0 m x 2,0 m in der Draufsicht (X-Y-Ebene) und 0,05 m x 0,05 m in der Schnittdarstellung.

Für die flächendeckende Berechnung der magnetischen Flussdichte im Umfeld der Gleise wurde der oben angegebene Maximalstrom je Streckenabschnitt jeweils gleichmäßig auf die beiden Fahrdrähte verteilt, der Rückstrom auf die vier Schienen.

Die Ergebnisse der Berechnung der magnetischen Flussdichte sind dabei als Spitzenwerte zu interpretieren, d. h. als Anstieg der Flussdichte vom Ausgangswert (Flussdichtewert des lokalen Erdmagnetfeldes) bis zu dem angegebenen Wert und anschließendem Abfall zurück auf den Ausgangswert.

## 5 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Anforderungen

Die Anforderungen sind die in Kapitel 3.5, Tabelle 3, genannten Werte. Die Berechnungsergebnisse der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke sind im Anhang dargestellt.

Die höchsten magnetischen Flussdichten werden in unmittelbarer Nähe bzw. an der Oberfläche der Schienen und Fahrdrähte erreicht. Nachdem die Oberfläche der Fahrdrähte naturgemäß nicht berührt werden kann, ist der Flussdichtewert an der Oberfläche einer Schiene als Maximalwert im zugänglichen Bereich zu betrachten. Dieser beträgt 2,68 mT.

Die höchsten elektrischen Feldstärken werden in der Umgebung der Fahrdrähte erreicht. In einem Abstand von 1 m, d. h. in einer Höhe von 4,5 m über dem Boden (näher wird man sich den unter Spannung stehenden Fahrdrähten nicht nähern können), erreichen die elektrischen Feldstärken etwa 0,17 kV/m.

Im Detail ist den Berechnungen zu entnehmen:

### - **Schutz von Personen**

Die höchsten magnetischen Flussdichten werden mit 2,68 mT an der Oberfläche der Schienen erreicht. Die höchsten elektrischen Feldstärken im zugänglichen Bereich (1 m Abstand von den unter Spannung stehenden Fahrdrähten in einer Höhe von 4.5 m) betragen ca. 0,17 kV/m. Die Anforderungen der 26. BImSchV bzw. der Ratsempfehlung 1999/519/EG werden somit in jedem Fall stets eingehalten.

### - **Träger aktiver Körperhilfsmittel**

Auf der Schienenoberfläche beträgt die magnetische Flussdichte 2,68 mT und liegt damit über der gemäß FB 451 zulässigen magnetischen Flussdichte von 0,70 mT. Dieser Wert wird aber bereits in kurzer Entfernung von der Schienenoberfläche (33,4 cm) unterschritten.

Im Bereich der Fahrdrähte beträgt die magnetische Flussdichte in 1 m Abstand (näher wird man sich den unter Spannung stehenden Fahrdrähten nicht nähern können) 0,57 mT und die elektrische Feldstärke 0,17 kV/m. Beide Werte liegen unter dem jeweiligen Grenzwert.

### - **Störfestigkeit Geräte im Industriebereich sowie im Wohn- und Geschäftsbereich**

Für Gleichfelder bzw. langsam veränderliche Felder sind in den entsprechenden Normen keine Grenzwerte genannt, da elektrische Geräte hier nicht empfindlich sind. Im Umfeld einer Straßenbahnstrecke ist deshalb mit Störungen elektrischer Geräte nicht zu rechnen.

### - **Kernspintomographen, 0,37 $\mu$ T – 2,82 $\mu$ T**

Um auch für empfindliche Kernspintomographen mit einer (in diesem Fall angenommenen) Störfestigkeit von nur 0,37  $\mu$ T einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen, sind Abstände von etwa 50 m vom nächstgelegenen Gleis erforderlich. Für unempfindliche Kernspintomographen mit einer (in diesem Fall angenommenen) Störfestigkeit von 2,82  $\mu$ T ergeben sich Abstände von 24 m.

## Anhang

### **Grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse der magnetischen Flussdichte und der elektrischen Feldstärke**

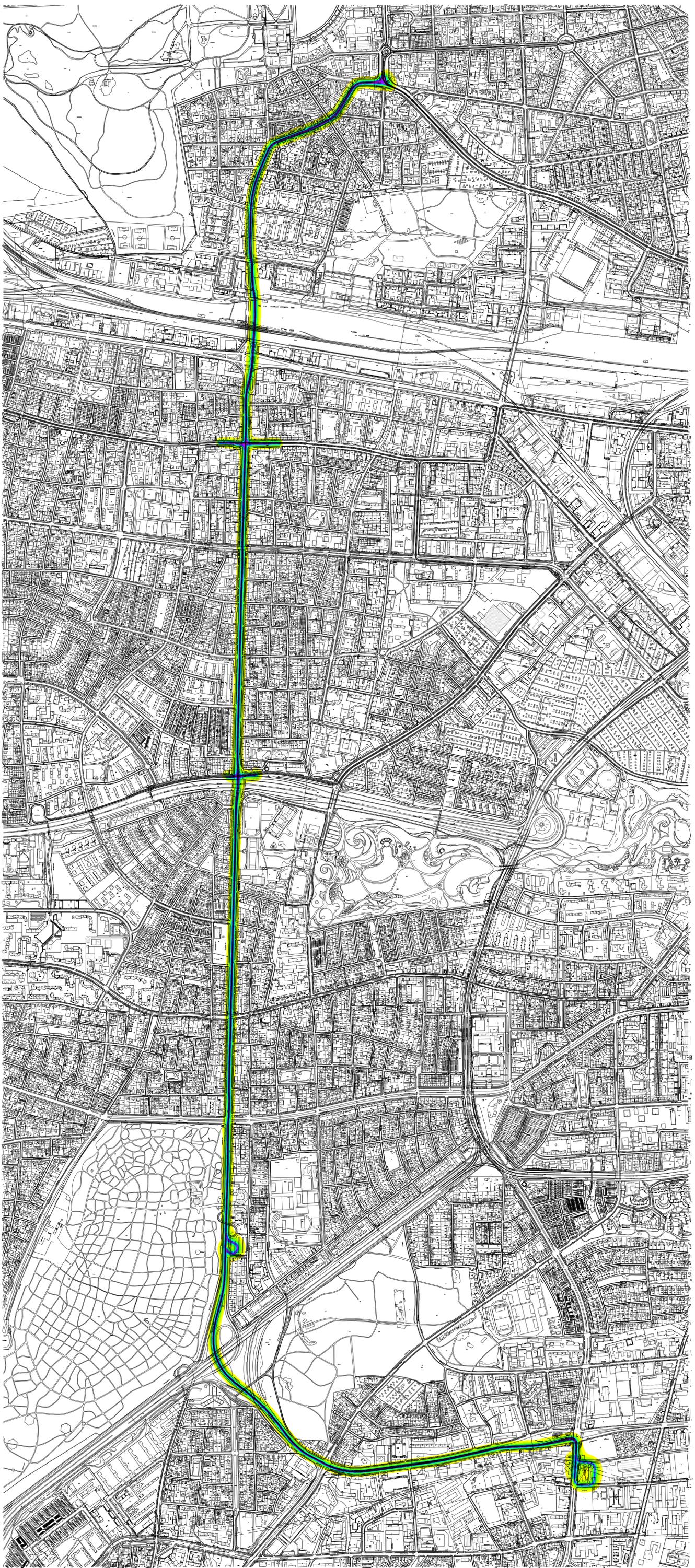
Seite 2: Isoflächendarstellung der magnetischen Flussdichte  
Vertikalschnitt in 0 m Höhe

Seite 3: Isoflächendarstellung der magnetischen Flussdichte  
Vertikalschnitt in 2 m Höhe

Seite 4: Isoflächendarstellung der elektrischen Feldstärke  
Horizontalschnitt in 2 m Höhe

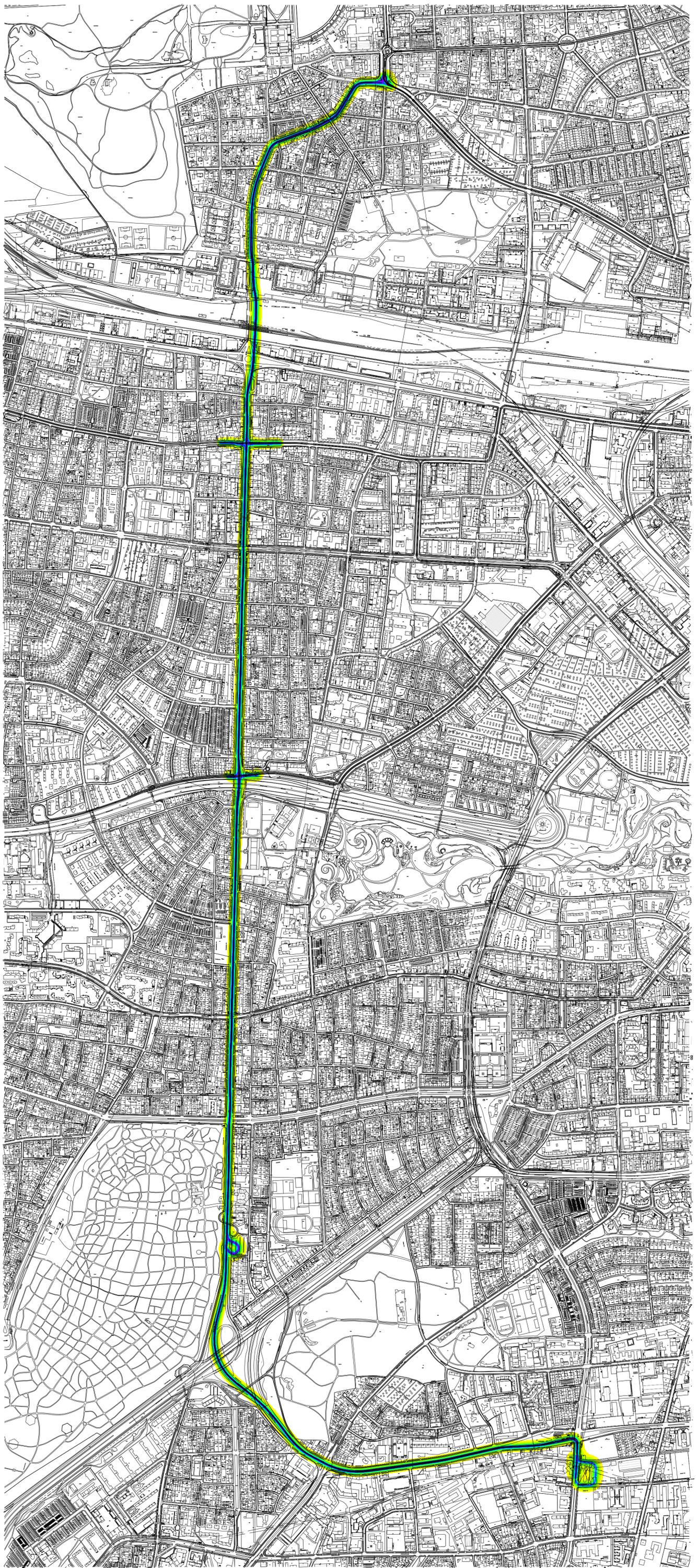
Seite 5: Isoflächendarstellung der magnetischen Flussdichte  
Vertikalschnitt

Seite 6: Isoflächendarstellung der elektrischen Flussdichte  
Vertikalschnitt



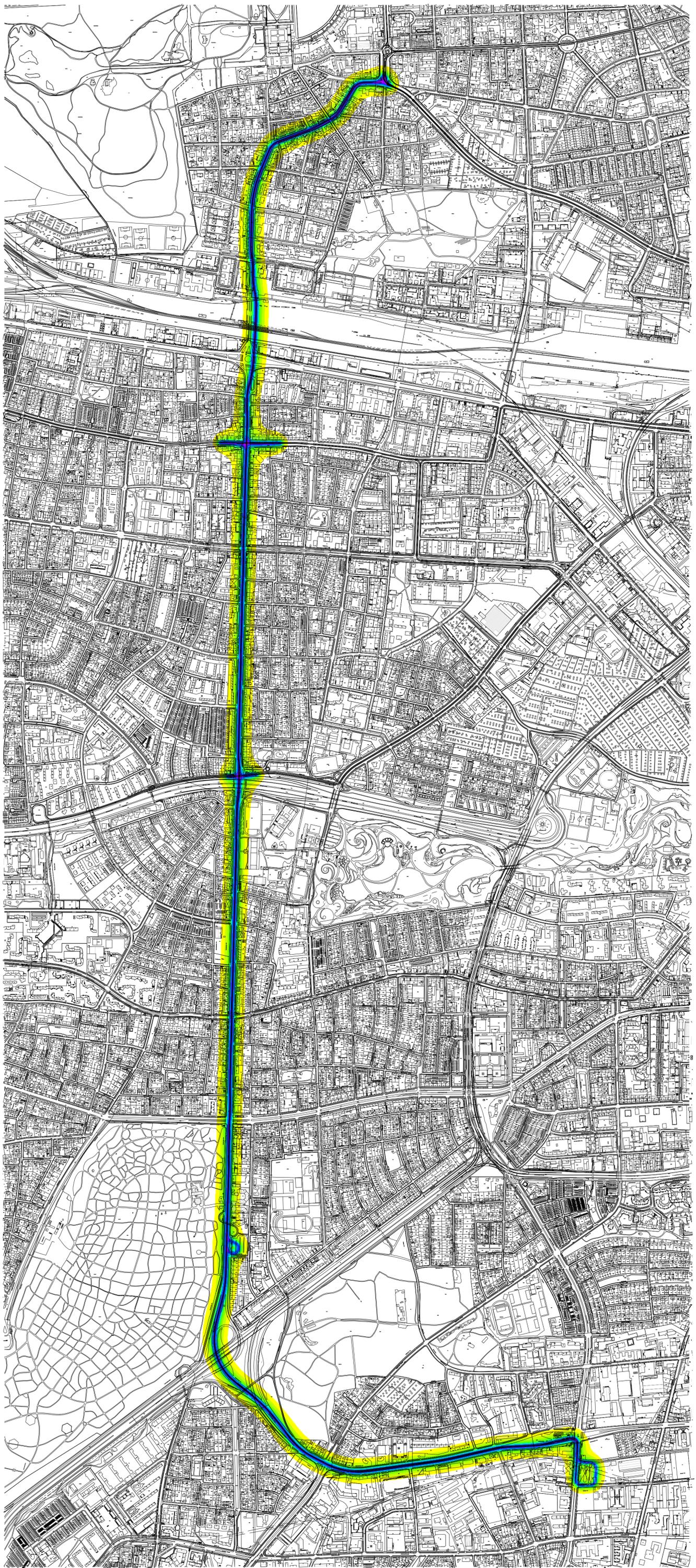
Legende



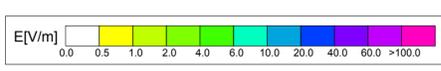


Legende

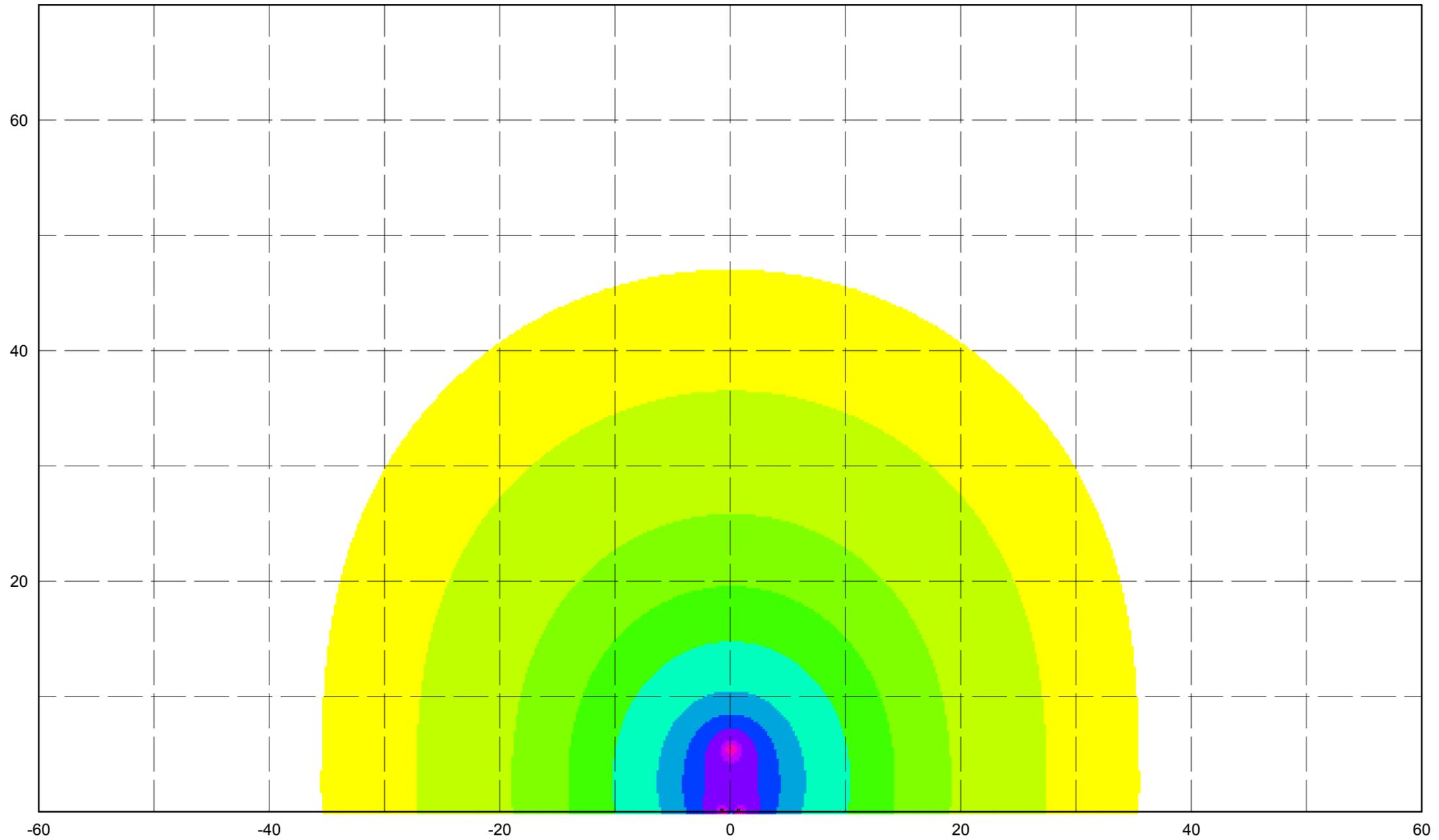




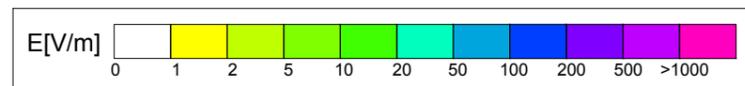
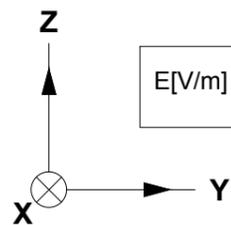
Legende



Vertikalschnitt

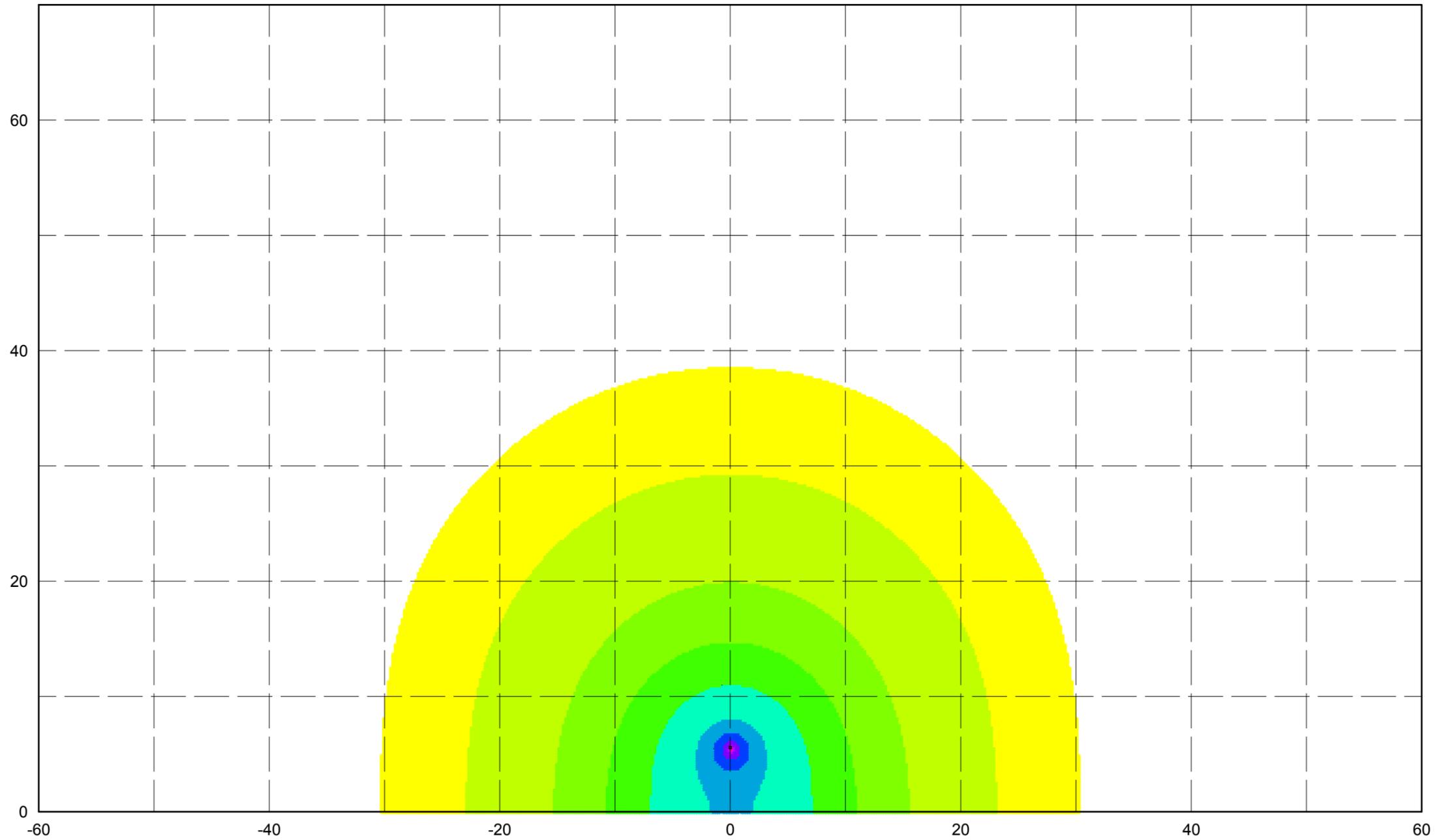


Legende

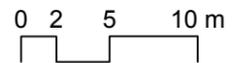
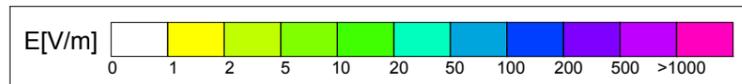
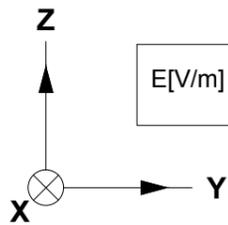


Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg / München Telefon +49 (0) 89 85602 - 0 www.MuellerBBM.de				<b>MÜLLER-BBM</b>	
Projekt Westtangente Untersuchung der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit			Isoflächendarstellung der magnetischen Flussdichte Vertikalschnitt		
Projekt <span style="float: right;">Inhalt</span>					
EMVU Fachbereich	M117 845/02 Bericht	dnh/zgl Sachbearbeiter/Zeichner	1:400 Maßstab	2018/10/02 Datum	Anhang, Seite 5 Plan

Vertikalschnitt



Legende



Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg / München Telefon +49 (0) 89 85602 - 0 www.MuellerBBM.de

**MÜLLER-BBM**

Projekt Westtangente  
 Untersuchung der elektromagnetischen  
 Umweltverträglichkeit

Isolflächendarstellung der  
 elektrischen Feldstärke  
 Vertikalschnitt

Projekt		Inhalt	
EMVU Fachbereich	M117 845/02 Bericht	dnh/zgl Sachbearbeiter/Zeichner	1:400 Maßstab
2018/10/02 Datum		Anhang, Seite 6 Plan	