

Anlage B6

EMV-Erdungs- und Streustromgutachten Elektrifizierung der AKN-Strecke A1/S21 Landesgrenze FHH/SH – Kaltenkirchen (PFA2)

Bericht Nr. 2019/513220/575.01

Auftraggeber: AKN Eisenbahn [GmbH](#), Bauwesen Infrastruktur Kaltenkirchen

Dresden, [21. Juni 2019](#)

Projektleiter:
Dr.-Ing. Jochen Hietzge

Bearbeiter:
Frau Heidi Hietzge
Dipl.-Ing. Martin Steude

[Deckblatt, vollständig überarbeitete Fassung](#)

Inhalt

1	Veranlassung	4
2	Grundlagen Rückstromführung und Bahnerdung	5
2.1	Betrieb von Wechselstrombahnen	5
2.2	Energieversorgungsanlagen 50 Hz.....	6
2.3	Blitzschutz.....	6
3	EMV-Grundsätze	7
3.1	EMV-Stand der Technik.....	7
3.2	Grenzwerte der EMV-Untersuchung nach 26. BImSchV	8
3.3	Vorsorge	9
3.4	Vorgehen zur Umsetzung der Minimierung.....	10
3.5	Minimierungsoptionen der 26. BImSchVVWV	10
3.6	Grenzwerte, Kenngrößen zur Bewertung.....	11
4	Projektbewertung, Feld- und Expositionsbereiche	13
4.1	Expositionsbereiche der Gemarkung Bönningstedt	14
4.2	Expositionsbereiche der Gemarkung Hasloh	14
4.3	Expositionsbereiche der Gemarkung Quickborn.....	15
4.4	Expositionsbereiche Gemarkung Ellerau/Quickborn.....	16
4.5	Expositionsbereiche Gemarkung Kaden/Quickborn.....	17
4.6	Expositionsbereiche Gemarkung Henstedt-Ulzburg	17
4.7	Expositionsbereiche Gemarkung Kaltenkirchen	18
5	Daten für die Feldberechnung	19
5.1	Schnitt AC 1	19
5.2	Schnitt AC 2	19
5.3	Schnitt AC 3.....	19
5.4	Schnitt AC 4.....	20
5.5	Schnitt AC 5.....	20
5.6	Schnitt AC 6.....	20
5.7	Schnitt AC 7.....	20
5.8	Schnitt AC 8.....	21
5.9	Schnitt AC 9.....	21
5.10	Schnitt AC 10.....	21
6	Ergebnisse Grenzwertuntersuchung und Minimierungspotentiale	22
6.1	Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Bönningstedt.....	22
6.2	Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Hasloh.....	23
6.3	Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Quickborn	23
6.4	Felder der Gemarkung Ellerau/Quickborn	24
6.5	Felder der Gemarkung Kaden/Quickborn	24
6.6	Felder der Gemarkung Henstedt-Ulzburg	25
6.7	Felder der Gemarkung Kaltenkirchen	25
7	Zusammenfassung	26
8	Abkürzungen.....	27
9	Anlagen.....	28

1 Veranlassung

Die AKN Eisenbahn GmbH plant den zweigleisigen Ausbau und die Elektrifizierung Ihrer Strecke A1 als Weiterführung der S-Bahn S21. Dafür ist die Erstellung eines EMV-Gutachtens erforderlich. Das Gutachten über die EMV-Wirkungen durch die Elektrifizierung soll die Gewährleistung des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (26. BImSchV), die Einhaltung der Arbeitsschutzvorschriften auf Basis des EMV-Gesetzes und die Verträglichkeit der Betriebsmittel unter Beachtung der Normative beinhalten.

Im vorliegenden EMV-Gutachten zur Einhaltung der Grenzwerte für niederfrequente elektrische und elektromagnetische Felder wird die Feldbeaufschlagung entlang der Strecke untersucht und es werden sensible Bereiche detailliert betrachtet. Neben der Untersuchung der Grenzwerteinhalten an den Anlagengrenzen werden für Minimierungsorte nach der 26. BImSchV-Verwaltungsvorschrift die Minimierungspotentiale hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit untersucht.

Desweiteren wird ein Überblick zu Grundlagen und Spezifika der Bahnerdung und der Bewertung elektromagnetischer Felder unter Beachtung der im Bearbeitungszeitraum zur Anwendung gebrachten Verwaltungsvorschrift gegeben.

2 Grundlagen Rückstromführung und Bahnerdung

2.1 Betrieb von Wechselstrombahnen

Für den Betrieb des 1 AC 15 kV 16,7 Hz - Fahrleitungsnetzes von Wechselstrombahnen wird die Netzform TN-C angewendet. Dabei dienen die Fahrschienen der Wechselstrombahn sowohl als Leiter für den Triebrückstrom (Betriebsstrom - Leiter N) als auch als Schutzleiter (PE). Sie stellen somit einen PEN-Leiter dar. Aufgrund der Schutzleiterfunktion sind die Fahrschienen der Wechselstrombahn ständig nahezu widerstandslos zu erden. Das Erdreich kann als paralleler Leiter zu den Fahrschienen – abhängig von den vorliegenden Impedanzverhältnissen – Anteile des Rückstromes im Bahnstromsystem übernehmen. Durch die elektrotechnische Auslegung der Oberleitungs- und Rückleitungsanlage können die Impedanzverhältnisse zwischen der Rückleitungsanlage und dem umgebenden Erdreich gezielt beeinflusst werden, z.B. durch Rückleiterseile.

Alle ortsfesten Bahnanlagen im Bereich von Wechselstrombahnen müssen ebenfalls bahngeerdet und in den Potenzialausgleich (PA) einbezogen werden. Erdung und Potenzialausgleich der ortsfesten Bahnanlagen sind erforderlich, damit im Fahrbetrieb keine unzulässig hohen Potentialdifferenzen zwischen Erde und den Fahrschienen auftreten. Sie können durch die Triebrückströme sowohl im Fahrbetrieb als auch im Kurzschlussfall auftreten. Im Kurzschlussfall muss eine Abschaltung des Kurzschlussstromes in den speisenden Unterwerken innerhalb vorgeschriebener kurzer Zeiten selektiv erfolgen. Daher sind alle ortsfesten elektrotechnischen Bahnanlagen und leitfähige metallische Einrichtungen mit den Fahrschienen als Bahnerde elektrisch leitend zu verbinden. Im Oberleitungs- und Stromabnehmerbereich gemäß Ril 997.0204 Bild 1 sind diese Verbindungen kurzschlussfest auszuführen, da sie zur Ableitung des Fehlerstromes dienen. Bei Verwendung von Deckenstromschienen kann der Oberleitungsbereich entfallen und es ist nur der Stromabnehmerbereich zu berücksichtigen. Bauteile oder Anlagen die in eine Schutzmaßnahme im öffentlichen Netz einbezogen sind und nicht bahngeerdete sind müssen einen Abstand von 2,5 m zu zugänglichen bahngeerdeten Anlagen aufweisen (DB Ril 997.0204 (6)). Alternativ kann der Nachweis geführt werden, dass die Berührungsspannungen nach DIN EN 50122-1 (VDE 0115 Teil 3) eingehalten werden. Bei Abständen unter einem Meter gilt der Hinweis aus Ril 997.206 (1), dass die Bahnerdungsanlage so gebaut ist, dass die Berührungsspannung, die in einem Abstand von einem Meter abgegriffen werden kann, unkritisch ist.

Weitere Besonderheiten gelten bei leitfähigen Bauteilen kleiner Abmessungen (3m parallel und 2 m horizontal/senkrecht zum Gleis), sie müssen nicht in die Bahnerdung eingebunden werden, wenn für Personen aus beliebiger Richtung erkennbar ist, ob ein leitfähiges Teil aufliegt und das Bauteil keine elektrische Ausrüstung trägt oder beinhaltet.

Bei Metallzäunen im Oberleitungsbereich sind die Forderungen der Ril 997.204 (9) zu beachten und die Verschleppung des Bahnpotentials aus dem Oberleitungsbereich heraus durch 2,5 m Lücken sicherzustellen. Alternativ bleibt die Verwendung nicht leitfähiger Zäune vorbehalten.

Metallische Bauteile sowie die Gebäudebewehrungen im Stromabnehmer- und Oberleitungsbereich der Wechselstrombahn sind ebenfalls mit der Bahnerde zur Potenzialsteuerung zu verbinden. Durch die Verbindung mit der Bahnerde können die Bewehrungen von Stahlbetonbauteilen ebenfalls Teile des Triebrückstromes führen. Um hierbei definierte Verhältnisse zu schaffen, wird die Rückstromführung in den Stahlbetonbauteilen durch zusätzlich in die Bewehrung eingelegte Erdungseisen beeinflusst. Die Erdungseisen sind nach DB Richtlinie (Ril 997.0205) auszuwählen, anzuordnen und zu verarbeiten. Die konstruktive Bewehrung der Stahlbetonkörper wird an diese Erdungseisen zum Zweck des Potenzialausgleichs angerödelt und kann somit auch gewisse Rückstromanteile übernehmen.

Weil alle ausgedehnten ortsfesten Bahnanlagen durch die gemeinsame Erdung bahnstromrückführend sein können, müssen Mäntel von Kabelverbindungen und metallische Leitungen, die von außen in die ortsfesten Bahnanlagen eingeführt werden, an geeigneten Übergangsgrenzen mit Potenzialtrennungen mit Isoliermuffen (und eventuell Schutzgeräten) ausgestattet werden. Kabelmäntel werden nur einseitig mit Erde verbunden. Kein Problem besteht für durchlaufende Kabel und Rohrleitungen, sofern sie gegen die Bahnanlage isoliert ausgeführt sind. Durch diese Maßnahmen wird eine Verschleppung des Bahnpotenzials nach außen verhindert.

2.2 Energieversorgungsanlagen 50 Hz

Zur Energieversorgung der Infrastruktur werden 50-Hz-Niederspannungssysteme (3 AC 400 V) aufgebaut. Diese können aus bahneigenen Transformatorstationen (Mittelspannung/400 V) oder aus bahnfremden 400-V-Ortsnetzen (dann nur als TT-System) eingespeist werden. Je nach Art der Einspeisung sind spezifische Erdungs- und Schutzmaßnahmen erforderlich. Diese sind in Ril 954.0107 beschrieben.

Die Sternpunkte der Mittelspannungstransformatoren auf der 400 V-Ebene sind über die HES mit der Bahnerde bzw. bei DC-Bahnen offen über Spannungsdurchschlagsicherungen mit der Rückleitung zu verbinden.

Die 3 AC 400/230 V 50 Hz-Verbrauchernetze können in der Netzform TN-S und TT aufgebaut werden. Im Gegensatz zu den Empfehlungen des VDE sind nach dem DB-Regelwerk 954 auch TN-C-Systeme für Verteileranlagen in Stellwerken gefordert, so es sich um die Zusammenschaltung von Netzersatzanlagen (NEA) handelt. Für Bahnhofsanlagen der DB Station&Service gelten die Festlegungen der Ril 813 Modul 40.

2.3 Blitzschutz

Eine Blitzschutzanlage hat die Aufgabe, Gebäude vor direkten Blitzeinschlägen und eventuellem Brand oder vor den Auswirkungen des eingepprägten Blitzstromes zu schützen. Das System der Blitzschutzanlage besteht aus einem äußeren und einem inneren Blitzschutzsystem.

Das äußere Blitzschutzsystem dient der Ableitung des Blitzstromes von der Fangeinrichtung über die Ableiteinrichtungen bis zur Erdungsanlage. Für das äußere Blitzschutzsystem ist der Eigentümer der baulichen Einrichtung verantwortlich.

Fahrschienen der Gleise der AC- und der DC-Bahnen dürfen nicht als Blitzschutzender verwendet werden.

Das innere Blitzschutzsystem dient der Begrenzung von Überspannungen in elektrischen Verbrauchernetzen sowie an elektrischen und elektronischen Endgeräten. Die Maßnahmen des inneren Blitzschutzes sind vom Betreiber der Netze und Endgeräte durchzuführen.

3 EMV-Grundsätze

3.1 EMV-Stand der Technik

Die Betrachtung der Elektromagnetischen Verträglichkeit der Elektrifizierung erfolgt hinsichtlich der Wirkungen auf Menschen, Umwelt und Technik gemäß den geltenden gesetzlichen Regularien. Die Problematik der technischen Beeinflussung und Sicherheit ist im vorangestellten Kapitel abgehandelt worden. Der Schutz von Menschen ist im Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG) festgeschrieben und findet Umsetzung in den Arbeitsschutzvorschriften. Diese werden derzeit dem aktuellen Stand angepasst. Zudem wird die Gewährleistung des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder gemäß der 26. BImSchV überprüft.

Hinsichtlich der Grenzwerte zu den elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern erfolgt der Nachweis nach §3 Abs. 2 und 3 der 26. BImSchV. Sie ist die restriktivste Festlegung und wird im Weiteren zur Beurteilung der Felder herangezogen.

Ziel der gesetzlichen Grenzwerte für technische Geräte, Installationen und Systeme durch die 26. BImSchV ist es, im Sinne der Vorsorge, die Menschen vor gesundheitsschädigenden Wirkungen der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder zu schützen. Die Handhabung und das Vorgehen ist in der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz 2014 in „Hinweisen zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder“ (LAI (2014)) beschlossen worden. Orientierung geben die körpereigenen elektrischen Feldstärken von bis zu maximal 50 mV/m. Als Reflektion des aktuellen Erkenntnisstandes werden als Basiswert 20 mV/m zugrunde gelegt, die der Empfehlung der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) entsprechen. Auf Basis einer körpereigenen elektrischen Feldstärke von 20 mV/m ergeben sich die Grenzwerte der 26. BImSchV. Die Höhe der Grenzwerte ist abhängig von der Frequenz der äußeren elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder und unterliegt je nach Frequenzbereich auch unterschiedlichen physikalischen Wirkmechanismen.

Hinsichtlich des Betriebs von Elektrogeräten müssen deren Inverkehrbringer (Hersteller) bestätigen, dass ihre Geräte eine bestimmte Störfestigkeit besitzen. Dies können sie bspw. durch Aufbringung des CE-Zeichens kenntlich machen. Das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln führt hierzu in § 4 aus: „Betriebsmittel müssen nach dem Stand der Technik so entworfen und hergestellt sein, dass sie gegen die bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu erwartenden

elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können.“

In Bezug auf passive Implantate sind div. Veröffentlichungen bekannt, in denen erst bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von einer möglichen Beeinflussung ausgegangen wird. So führt es bspw. auch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung aus und nennt Frequenzen ab ca. 100 kHz (100.000 Hz). Diese Frequenz ist deutlich oberhalb der für Bahnstrom verwandten Frequenz von $16 \frac{2}{3}$ Hz.

Die Problematik der Störbeeinflussung von Herzschrittmachern hat zunehmende Wichtigkeit. Mit ihrer Untersuchung wurde die Strahlenschutzkommission (SSK) beauftragt. In ihrer Empfehlung kommt die Strahlenschutzkommission zu dem Schluss, „dass auch nach Bewertung der neueren wissenschaftlichen Literatur keine wissenschaftlichen Erkenntnisse in Hinblick auf mögliche Beeinträchtigungen der Gesundheit durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder vorliegen, die ausreichend belastungsfähig wären, um eine Veränderung der bestehenden Grenzwertregelung der 26. BImSchV zu rechtfertigen. Aus der Analyse der vorliegenden wissenschaftlichen Literatur ergeben sich auch keine ausreichenden Belege, um zusätzliche verringerte Vorsorgewerte zu empfehlen, von denen ein quantifizierbarer gesundheitlicher Nutzen zu erwarten wäre.“ Dennoch empfiehlt sie, angesichts der wachsenden Zahl von Personen mit aktiven Implantaten, Folgendes:

„Zur Vermeidung der Störbeeinflussung von elektronischen Implantaten (z.B. Herzschrittmachern oder Defibrillatoren) sind ortsfeste Anlagen zur Energieversorgung mit der Frequenz 50 Hz und der Bahnfrequenz $16 \frac{2}{3}$ Hz so zu planen, zu errichten und zu betreiben, dass auch bei höchster betrieblicher Auslastung die von einer Anlage emittierten magnetischen Induktionen die empfohlenen Grenzen nicht überschreiten. Die Induktionen sollten in Bereichen, die Implantatträgern zugänglich sind, und bei denen Feldquellen, die nicht sichtbar bzw. bei denen ein Exposition-vermeidendes Verhalten nicht möglich oder nicht zumutbar ist, folgende Werte nicht überschreiten:

- 10 μ T (50 Hz) bzw. 30 μ T ($16 \frac{2}{3}$ Hz) in Bereichen, in denen mit zusätzlichen Feldquellen gerechnet werden muss (z.B. in Wohnanlagen, Seniorenheimen, Krankenhäusern)
- 15 μ T (50 Hz) bzw. 45 μ T ($16 \frac{2}{3}$ Hz) in Bereichen, in denen Einträge zusätzlicher Feldquellen nicht zu erwarten und Feldquellen (z.B. Erdkabel) nicht sichtbar bzw. nicht entsprechend gekennzeichnet sind.“

Vor diesem Hintergrund erfolgt im weiteren die Untersuchung gemäß 26. BImSchV , deren Verwaltungsvorschrift.

3.2 Grenzwerte der EMV-Untersuchung nach 26. BImSchV

Der Nachweis zur Einhaltung der Grenzwerte der elektrischen und magnetischen Feldern erfolgt nach §3 Abs. 2 und 3 gemäß Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) in der Fassung vom August 2013. Sie gilt u.a. für die Errichtung und den Betrieb von Niederfrequenzanlagen. Sie enthält Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder.

Sie berücksichtigt nicht die Wirkung der elektrischen, magnetischen oder elektromagnetischen Felder auf elektrisch oder elektronisch betriebene Implantate.

Zu den Niederfrequenzanlagen gehören neben den ortsfesten Anlagen zur Umspannung und Fortleitung von Elektrizität mit einer Nennspannung von 1000 Volt und mehr ausdrücklich auch die Bahnstromfern- und Bahnstromoberleitungen und sonstige vergleichbare Anlagen im Frequenzbereich von 1 Hertz bis 9 Kilohertz.

Anlagen des GSM-R Funkes liegen mit ihren Bändern von 876 Megahertz bis 925 Megahertz außerhalb dieser Betrachtung.

Weiterhin zu beachten sind Feldanteile von Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz bis 10 MHz, die einer Standortgenehmigung im Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen. Die Überprüfung erfolgt auf Grundlage der Datenbank der Bundesnetzagentur.

3.3 Vorsorge

In dieser Untersuchung werden alle Grenzwerte gemäß der „Anforderungen zur Vorsorge“ (§ 4 26. [BlmSchV](#)) verwendet. Dies dient dem besonderen Schutz von Bereichen mit Wohnungen, Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Kinderhorten, Spielplätzen oder ähnlichen Einrichtungen.

In Absatz [§ 4 Abs. 2 26. BlmSchV](#) ist gefordert, bei Errichtung oder maßgeblicher Änderung von Niederfrequenzanlagen oder Gleichstromanlagen die Möglichkeiten auszuschöpfen, die von der Anlage ausgehenden elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder nach dem Stand der Technik ([3.1](#)) zu minimieren. Dies gilt unter Berücksichtigung von Gegebenheiten im Einwirkungsbereich. Eine genauere Beschreibung des Inhaltes dieser Forderung ist in der [Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BlmSchV \(26. BlmSchVVwV\)](#) beschrieben und seit März 2016 anzuwenden. [Die wesentlichen Punkte, Inhalte und Begrifflichkeiten sind nachfolgend dargestellt. Wesentliche verwendete Begriffe sind:](#)

[Bahnoberleitungsanlage:](#) Gesamtheit der Betriebsmittel der elektrischen Energieversorgung von Unterwerken zu elektrischen Triebfahrzeugen.

[Bewertungsabstand:](#) Abstand von der Anlage, ab dem die Feldstärken mit zunehmender Entfernung durchgehend abnehmen. Ausgangspunkt ist die Bodenprojektion des ruhenden äußeren Leiters. Dies ist die Gleismitte bei Oberleitungen oder, wenn vorhanden die jeweils äußere Speise- oder Verstärkungsleitung.

[Maßgeblicher Minimierungsort:](#) Ein maßgeblicher Minimierungsort ist ein Gebäude- oder Gebäudeteil im Sinne der Vorsorge nach §4 26. [BlmSchV](#) im Einwirkungsbereich der Anlage, das zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt bestimmt ist.

[Einwirkungsbereich:](#) nach 26. [BlmSchVVwV](#) „Der Einwirkungsbereich einer Anlage ist der Bereich, in dem die Anlage sich signifikant von den natürlichen und mittleren anthropogen bedingten Immissionen abhebende elektrische oder magnetische Felder verursacht, unabhängig davon, ob die Immissionen tatsächlich schädliche Umwelteinwirkungen auslösen. Im Niederfrequenzbereich wird die Hintergrundexposition dominiert durch die anthropogen vorkommenden Feldstärken, die im

Wesentlichen durch die elektrische Hausinstallation und Elektrogeräte verursacht werden. In Deutschland beträgt die niederfrequente anthropogene Magnetfeldstärke im Mittel $0,1 \mu\text{T}$ und die elektrische Feldstärke weniger als 1 V/m .“

Bezugspunkt: Der Bezugspunkt ist ein Punkt im Bewertungsabstand, zwischen Anlage und (außerhalb des Bewertungsabstand liegenden) maßgeblichen Minimierungsorten zur Betrachtung der Minimierungswirkungen.

Repräsentativer Bezugspunkt: Der repräsentative Bezugspunkt dient wie der Bezugspunkt der einheitlichen Bewertung von Minimierungsmaßnahmen im Bewertungsabstand. Er ist aber nicht einem dedizierten maßgeblichen Minimierungsort zugeordnet, sondern durch ihn wird eine Gruppe maßgeblicher Minimierungsorte gleicher Charakteristika in der Untersuchung zusammengefasst.

Für „maßgebliche Minimierungsorte“ innerhalb des Bewertungsabstandes erfolgt eine Einzelprüfung der Grenzwerteinhaltung. Dies entspricht dem bisherigen Vorgehen zur Bewertung der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder bezüglich 26. BImSchV.

3.4 Vorgehen zur Umsetzung der Minimierung

Die Umsetzung des Minimierungsgebotes erfolgt in den Schritten:

- Vorprüfung,
- Ermittlung der Minimierungsmaßnahme,
- Bewertung der Maßnahme.

In der Vorprüfung wird festgestellt ob der Anlass der Minimierung, wie Neubau oder maßgebliche Erweiterung einer Niederfrequenzanlage oder Gleichstromanlage vorliegt. Wenn ja, erfolgt die Untersuchung, ob ein „maßgeblicher Minimierungsort“ gegeben ist.

Ist dies der Fall werden die Minimierungsorte bestimmt und hinsichtlich ihrer Anlagennähe mittels Bewertungsabstand eingestuft. Danach erfolgt eine individuelle Prüfung des Minimierungsortes bzw. eine Prüfung der Bezugspunkte der entfernteren Minimierungsorte auf die gegebenen Minimierungspotentiale.

Zur Maßnahmenbewertung wird die Verhältnismäßigkeit der Maßnahme geprüft.

3.5 Minimierungsoptionen der 26. BImSchVVwV

In der Verwaltungsvorschrift sind vielfältige Maßnahmen und deren zugehörigen Wirksamkeiten beschrieben die zu einer Minimierung der Felder führen können. Für die Anlagen der Bahnstromversorgung mit $16,7 \text{ Hz}$ sind dies die nachfolgend angeführten Maßnahmen.

Für Bahnstromfreileitungen beispielhaft:

Abstandsoptimierung	Wirksamkeit in Trassennähe hoch, dann abnehmend
Elektrische Schirmung	Wirksamkeit für E-Feld hoch sonst eingeschränkt und Abhängig von der Lage der Erdseile

Für Bahnstromoberleitung:

Abstandsoptimierung	Wirksamkeit mittel
Autotransformatoren	Wirksamkeit hoch, nicht aber im Abschnitt des Zuges. Verlangt zusätzlichen Feeder -15 kV und weiteres, beeinflusst Speiselänge, daher Aufwand z.T. erheblich.
Booster ohne Isolierstoß	Wirksamkeit hoch, nicht aber im Abschnitt des Zuges. Verkürzt Speiselänge, daher Aufwand z.T. erheblich.
Rückleiterseil	Wirksamkeit hoch, verringert Erdströme. Aufwand kann gering sein bei geeigneten Masten.
Zweiseitige Speisung	Wirksamkeit hoch durch Minimierung Fahrstrom. Aufwand kann erheblich sein für zusätzliches UW.

Wirksamkeiten und Aufwand sind stark anwendungsabhängig. Die hier gekürzt dargestellten typischen Verhalten können gegebenenfalls gegenteilig wirken.

Für dieses Nahverkehrsprojekt werden nach heutigem Stand der Technik die Auto- und Booster Transformatoren nicht als Alternative angesehen.

Die Minimierungsoptionen Abstandsoptimierung, Installation Rückleiterseil oder Minimierung des Speisestromes durch das Speisekonzept werden in diesem Projekt diskutiert.

3.6 Grenzwerte, Kenngrößen zur Bewertung

Die Grenzwerte für elektrische magnetische und elektromagnetische Felder sind in der 26. BImSchV für einzelne Frequenzen festgelegt. Für die Untersuchungen in diesem Gutachten sind die folgenden Werte relevant.

Für Niederfrequenzanlagen der Bahn mit 16,7 Hertz liegen in der geltenden Fassung vom 8/2013 bei:

	300 μ T für die magnetische Flussdichte und
	5 kV/m für die elektrische Feldstärke.

Die Grenzwerte für die Niederfrequenzanlagen mit 50 Hertz liegen in der geltenden Fassung vom 8/2013 bei:

Ausnahmen und bei	200 μ T für die magnetische Flussdichte für
Untersuchung relevanten Bereiche, sowie	100 μ T zur Vorsorge für die in dieser Unter-
	5 kV/m für die elektrische Feldstärke.

(informativ Anlagen über 2000 V für DC 0 Hz 500 μ T)

Zur Einordnung und Bewertung der maßgeblichen Minimierungsorte sind in der Verwaltungsvorschrift die für unterschiedlichen Frequenzen und Anlagen relevanten Abstände benannt. Nachfolgend ist eine Auswahl aufgeführt.

Einwirkungsbereich:

Niederfrequenzanlagen:

• Erdkabel	Nennspannung:	$\geq 380 \text{ kV}$	100 m
		$\geq 220 \text{ kV} - <380 \text{ kV}$	75 m
		$\geq 110 \text{ kV} - <220 \text{ kV}$	35 m
		$\geq 50 \text{ kV} - <110 \text{ kV}$	25 m
		$< 50 \text{ kV}$	10 m

Umspann- und Schaltanlagen:

• Umspann- und Schaltanlage	$> 110 \text{ kV}$	100 m
• Umspann- und Schaltanlage	$\leq 110 \text{ kV}$	50 m
• Ortsnetzumspannstation (Umspannung von Mittel- auf Niederspannung)		10 m

Bahnstromanlagen:

• Bahnstromfernleitungen siehe Freileitungen Niederfrequenzanlagen		
• Bahnoberleitungen		100 m
• Bahnenergieleitungen		100 m
• Bahnstromumrichteranlage		20 m
• Umspann- und Schaltanlage		20 m

Bewertungsabstände:

Niederfrequenzanlagen:

• Erdkabel	Nennspannung:	$\geq 380 \text{ kV}$	10 m
		$\geq 220 \text{ kV} - <380 \text{ kV}$	5 m
		$\geq 110 \text{ kV} - <220 \text{ kV}$	1 m
		$\geq 50 \text{ kV} - <110 \text{ kV}$	1 m
		$< 50 \text{ kV}$	1 m

Umspann- und Schaltanlagen:

• Umspann- und Schaltanlage	$> 110 \text{ kV}$	5 m
• Umspann- und Schaltanlage	$\leq 110 \text{ kV}$	1 m
• Ortsnetzumspannstation (Umspannung von Mittel- auf Niederspannung)		1 m

Bahnstromanlagen:

• Bahnstromfernleitungen siehe Freileitungen Niederfrequenzanlagen		
• Bahnoberleitungen		10 m
• Bahnenergieleitungen		10 m
• Bahnstromumrichteranlage		5 m
• Umspann- und Schaltanlage		5 m

4.1 Expositionsbereiche der Gemarkung Bönningstedt

Im Bereich der Gemarkung Bönningstedt liegen keine maßgeblichen Minimierungsorte innerhalb des Bewertungsabstandes der Bahnüberleitung vor. Im Einwirkungsbereich (bis 100 m Entfernung zur äußeren Gleismitte) wurden mehrere maßgebliche Minimierungsorte vorgefunden. Im Folgenden sind diese ausgehend von der Landesgrenze mit dem zugeordneten Bezugspunkt aufgeführt.

- km 11,7 – 11,9: beidseitige Wohnbebauung mit Abständen von 10 m bis 30 m; repräsentativer Bezugspunkt km 11,9 [Schnitt AC 1](#).
- km 11,9 – 12,3: beidseitige Wohnbebauung bis zum Bahnhof Bönningstedt mit Abständen von 10 m bis 30 m; repräsentativer Bezugspunkt km 12,2 [Schnitt AC 3](#).
- km 12,3 – 12,8: einseitige Wohnbebauung westlich mit Abständen von 15 m bis 30 m, Einzelhaus km 12,5 östlich; repräsentativer Bezugspunkt km 12,5 [Schnitt AC 2](#).
- km 13,4: Wohnhaus westlich im Abstand von 60 m, Bezugspunkt km 13,4 [Schnitt AC 2](#).
- km 13,6: Spielplatz westlich im Abstand von 20 m, Bezugspunkt km 13,6 [Schnitt AC 2](#).
- km 13,7: Wohnhaus westlich im Abstand von 30 m, Bezugspunkt km 13,7 [Schnitt AC 2](#).

Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte liegen in diesem Bereich nicht vor.

Die im weiteren Verlauf der Strecke bei km 13,8 gelegenen Kleingärten werden nicht als untersuchungsrelevante Expositionsbereiche gemäß der Verordnung über elektromagnetische und elektrische Felder dargestellt. Die Feldsituation kann aber bei Bedarf (Umwidmung auf Wohnbebauung) nachrichtlich aus [Schnitt AC 2](#) abgeleitet werden. Auch hier liegen keine Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte vor.

4.2 Expositionsbereiche der Gemarkung Hasloh

In der Ortslage Hasloh liegt ein maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstandes am km 17,6 vor. Weitere maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Einwirkungsbereichs sind ebenfalls vorhanden. Daten für zusätzliche Hintergrundbelastungen im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte liegen nicht vor. Die maßgeblichen Minimierungsorte sind nachfolgend aufsteigend kilometriert aufgeführt.

- km 15,4 – 15,6: einseitige Wohnbebauung westlich mit Abständen von 25 m, repräsentativer Bezugspunkt km 15,6 [Schnitt AC 2](#).
- km 15,6 – 15,8: beidseitige Wohnbebauung mit Abständen ab 10 m, repräsentativer Bezugspunkt km 15,6 [Schnitt AC 2](#).
- km 15,8 – 16: beidseitige Wohnbebauung um den Bahnhof Hasloh mit Abständen ab 10 m mit Kinderhaus Villa Kunterbunt (Abstand 13 m), repräsentativer Bezugspunkt km 15,9 [Schnitt AC 3](#).

- km 16,4: beidseitige Wohnbebauung mit Abständen ab 13 m, repräsentativer Bezugspunkt km 16,4 **Schnitt AC 3**.
- km 16,9 – 17: einseitige Wohnbebauung westlich mit Abständen 50 m, repräsentativer Bezugspunkt km 16,9 **Schnitt AC 2**.
- km 17,4 – 17,5: einseitige Wohnbebauung östlich mit Abstand 17 m, Bezugspunkt km 17,4 **Schnitt AC 2**.
- km 17,6: maßgeblicher Minimierungsort, da Anbau innerhalb des Bewertungsabstand, westlich mit Abstand zur äußeren Gleisachse 9 m, **Schnitt AC 2** am km17,6.

4.3 Expositionsbereiche der Gemarkung Quickborn

Im Bereich der Gemarkung Quickborn wurden mehrere wesentliche Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts aufgenommen. Diese befinden sich um den Bahnhof bei den Kilometerpunkten 19,8, 20,18 und 20,4. Diese sind als innerhalb des Bewertungsabstand befindlich in der Liste der maßgeblichen Minimierungsorte geführt. Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte liegen in diesem Bereich nicht vor.

Die maßgeblichen Minimierungsorte sind:

- km 18,1 – 18,2: einseitige Wohnbebauung und Kindereinrichtung Rosa-Scholl-Haus westlich mit Abstand 30-35 m, repräsentativer Bezugspunkt km 18,2 **Schnitt AC 2**.
- km 18,9 – 19,1: **beidseitige** Wohnbebauung östlich bei 13 m und westlich bei 60 m, Schule westlich bei 90 m. Repräsentativer Bezugspunkt km 18,2 **Schnitt AC 2**.
- km 19,2: Bahnhof Quickborn Süd mit beidseitiger Wohnbebauung im Einwirkungsbereich bei 12 m. Repräsentativer Bezugspunkt km 19,2 **Schnitt AC 2**.
- km 19,2 – 19,8: beidseitige Wohnbebauung bis 11 m Abstand zur äußeren Gleisachse. Repräsentativer Bezugspunkt km 19,2 **Schnitt AC 2**.
- km 19,8: maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstand mit Abstand zur äußeren Gleisachse 7,5 m, **Schnitt AC 2** am km 19,8.
- Km **20,2**: maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstand ist das Bahnhofsgebäude mit Arztpraxen im Abstand zur äußeren Gleisachse von 5,5 m. Bereich Bahnhof Quickborn, **Schnitt AC 5** am km 20,18.
- km **20,2**: gleichzeitig maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Einwirkungsbereichs wegen weiterer Bebauung östlich bei ca. 15 m und Kita Zauberbaum 80 m östlich. Repräsentativer Bezugspunkt ist die Grenze des Bewertungsabstands bei km 20,18, **Schnitt AC 5**.
- km 20,4: Interpretation als möglicher maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstand ist eine Gebäudeecke des

- Großmarktes Famila im Abstand zur äußeren Gleisachse von 7 m, **Schnitt AC 6** am km 20,4.
- km 20,4 – 20,6: Maßgebliche Minimierungsorte beidseitig ab ca. 15 m Entfernung zur Gleismitte des äußeren Gleises. Weiterhin westlich auf 30 m Entfernung ein Spielplatz. Repräsentativer Bezugspunkt bei km 20,4 **Schnitt AC 6**.
- km 22 – 22,4: Maßgebliche Minimierungsorte einseitig, bei km 22,4 beidseitig. Ab ca. 14 m Entfernung zur Gleismitte des äußeren Gleises. Repräsentativer Bezugspunkt km 22,4 **Schnitt AC 2**.

4.4 Expositionsbereiche Gemarkung Ellerau/Quickborn

Im Bereich der Gemarkung Ellerau verläuft die Bahntrasse zweigleisig aus Richtung Hamburg kommend und weitet sich nach der Straßenüberquerung (ca. km 22,5) im Bahnhofsbereich (km 22,7) auf und wird ab km 22,9 eingleisig durch die Ortslage Ellerau bis Ende der Bebauung am Hamburger Weg geführt. Ab ca. km 23,9 wird die Strecke zunächst zweigleisig Richtung Kaltenkirchen weitergeführt. Für diesen Bereich wurden mehrere wesentliche Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts aufgenommen. Diese befinden sich in der Nähe des Bahnhofs und in der Wohnbebauung entlang der Bahnstraße. Sie werden im Weiteren als maßgebliche Minimierungsorte betrachtet. Bei Kilometerpunkt 22,45 liegt eine Exposition innerhalb des Bewertungsabstands. Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte liegen in diesem Bereich nicht vor. Die Untersuchungsbereiche ergeben sich wie folgt:

- km 22,4: Hotel Erlenhof als maßgeblicher Minimierungsort innerhalb des Bewertungsabstands bei 8 m Abstand zur äußeren Gleisachse, **Schnitt AC 4 km 22,4**.
- km 22,7: Bahnhof Ellerau mit beidseitiger Bebauung als maßgebliche Minimierungsorte ab 20 m. Repräsentativer Bezugspunkt km 22,7 **Schnitt AC 3**.
- km 23,0 – 23,8: maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitung beidseitig mit im Norden bis 15 m und südlich bis ca. 20 m Annäherung. Repräsentativer Bezugspunkt bei km 23,6 mit 12 m Annäherung **Schnitt AC 10**.
- km 24,1 – 24,4: Bereich des Bahnhof Tanneneck mit einseitiger Wohnbebauung südlich der Strecke ab 15 m Abstand. Repräsentativer Bezugspunkt km 24,1 **Schnitt AC 5**.
- km 24,9 – 25,6: Die in diesem Bereich vorhandene Bebauung nördlich der Strecke wird wegen ihrer gewerblichen Ausrichtung nicht als maßgeblicher Minimierungsort interpretiert. Nachrichtlich können die Feldverhältnisse aus **Schnitt AC 2** entnommen werden.

4.5 Expositionsbereiche Gemarkung Kaden/Quickborn

Im Bereich der Gemarkung Kaden/Quickborn wurden keine maßgeblichen Minimierungsorte innerhalb des Bewertungsabstandes vorgefunden. Im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitungsanlage befinden sich maßgebliche Minimierungsorte gemäß Verwaltungsvorschrift. Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung im Bereich maßgeblicher Minimierungsorte liegen in diesem Bereich nicht vor.

km 26,5 – 26,7: maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitung einseitig ab ca. 13 m östlich der Trasse. Repräsentativer Bezugspunkt km 26,7 [Schnitt AC 9](#).

4.6 Expositionsbereiche Gemarkung Henstedt-Ulzburg

In der Ortslage Ulzburg-Süd wird die Annäherung des Wohnhauses an der Usedomer Straße am Kilometer 28 als Exposition des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts innerhalb des Bewertungsabstands betrachtet ([Schnitt 2](#)). Daten für eine zusätzliche Hintergrundbelastung in diesem Bereich liegen nicht vor. Zusammen mit den zu betrachtenden Expositionen im Einwirkungsbereich sind die maßgeblichen Minimierungsorte dieser Gemarkung nachfolgend zusammengestellt.

km 26,8 – 27: maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitung um den Bahnhof Ulzburg-Süd beidseitig der Trasse ab ca. 13 m. Repräsentativer Bezugspunkt km 27 [Schnitt AC 3](#).

km 27,3 – 28,9: maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitung einseitig 45 m bis 20 m östlich der Trasse bis zum Hofladen Ulzburg km 28, ab hier dann beidseitig bei ca. 24 - 35 m. Neben der Wohnbebauung gelten im Sinne der Vorsorge der Spielplatz km 28,5 bei einer Annäherung von 12 m und die Schule, km 28,8 60 m entfernt. Repräsentativer Bezugspunkt km 28 [Schnitt AC 2](#).

km 28,9 – 29,7: Dieser Bereich bis Bahnhof Henstedt Ulzburg weist maßgebliche Minimierungsorte im Einwirkungsbereich der Bahnoberleitung beidseitig der Trasse und darüber auf. [Repräsentativer](#) Bezugspunkt km 28,9 [Schnitt AC 7](#).

Im weiteren Verlauf der Strecke bis zur Gemarkung Kaltenkirchen liegen keine Erkenntnisse über weitere maßgebliche Minimierungsorte vor.

4.7 Expositionsbereiche Gemarkung Kaltenkirchen

In der Ortslage Kaltenkirchen befindet sich die Einspeisung der Strecke. Sie erfolgt vom Umrichterwerk am km 32. Die Zuführung erfolgt mit Kabeln. Im Bewertungsabstand der Kabel (5 m) und in deren Einwirkbereich (10 m) befinden sich keine Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts und somit auch keine maßgeblichen Minimierungsorte nach der 26. BImSchVVwV. Dasselbe Ergebnis liegt für das Umrichterwerk inklusive Einspeisemast vor. Für das Umrichterwerk wurde ein Einwirkbereich für Bahnstromumrichter von 20 m und ein Bewertungsabstand von 5 m verwendet. Die Einspeisung über den Ersatzneubau des Mast 7 (an gleicher Stelle) als Abzweigwinkelmast wird als 110 kV Freileitung mit 10 m Bewertungsabstand und 200 m Einwirkbereich betrachtet.

Von der Einspeisung aus verläuft die Strecke nach Norden im Stich gespeist bis zum Bahnhof Kaltenkirchen Süd bei km 33 durch Industrie und Gewerbebebauung. Im weiteren Verlauf bis zum Bahnhof Kaltenkirchen liegt Mischbebauung bis an den Bewertungsabstand vor. Neben den gewerblichen Einrichtungen sind im Einwirkbereich bis 100 m weiterhin die Einrichtungen der Waldorfschule, eine Grundschule und Wohnbebauung zu beachten. Weiterhin liegt an diesem Streckenabschnitt die Abstellanlage mit angrenzender Wohnbebauung. Es wurden keine Expositionsbereiche innerhalb des Bewertungsabstands festgestellt. Daten für zusätzliche Hintergrundbelastungen im Bereich der maßgeblichen Minimierungsorte liegen nicht vor. Für die Ortslage Kaltenkirchen wurden Expositionen des nicht nur vorübergehenden Aufenthalts als Minimierungsorte wie folgt bestimmt:

- km 33,0 – 34,3: Im Bereich zwischen den Bahnhöfen von Kaltenkirchen sind maßgebliche Minimierungsorte direkt am Haltepunkt Kaltenkirchen Süd ab ca. 25 m östlich die Leibnitz Privatschule Kaltenkirchen und weiterführend ab der Abstellanlage beidseitig der Strecke. Diese sind mit Abständen ab ca. 15 m Wohnbebauung östlich und westlich ab einem Abstand von ca. 40 m die Grundschule und Sportanlagen. Repräsentativer Bezugspunkt km 33,9 Schnitt AC 8.
- km 33,9: Am km 33,9 befindet sich die Abstellanlage, in deren Einwirkbereich weitere Minimierungsorte liegen. Dies ist zum einen Wohnbebauung ab ca. 15 m Abstand und die Waldorfschule mit Kindergarten ab ca. 70 m Abstand. Da in der Abstellung keine wesentlichen Traktionsströme auftreten können, erfolgt keine explizite Feldberechnung. Repräsentativer Bezugspunkt km 33,9 Schnitt AC 8.
- km 34,3: Im Bereich Bahnhof Kaltenkirchen liegen maßgebliche Minimierungsorte beidseitig der Strecke mit ca. 20 m Abstand im Einwirkbereich der Bahnoberleitung. Repräsentativer Bezugspunkt km 34,3 Schnitt AC 8.

Bei der Feldsituation dieses Expositionsbereiches ist von einem reduzierten Betriebsstrom von 400 A auszugehen und die Oberleitungsanlage wird ohne Verstärkungsleitung ausgeführt.

5 Daten für die Feldberechnung

Zur Berechnung der elektromagnetischen Felder entlang der Strecke werden nachstehende Kennwerte der Oberleitung gemäß der Planfeststellungsunterlagen verwendet:

- Regelfahrdrahthöhe 5,50 m,
- Regelsystemhöhe Strecke 1,40 m,
- Regelsystemhöhe Bahnhof 1,80 m,
- Mindestabstand Verstärkungsleitung über Ausleger 0,65 m.
- Speiseströme Umrichterwerk 2x550 A
- Nennspannung 15 kV

Weiterhin zu beachten sind Feldanteile von Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz bis 10 MHz, die einer Standortgenehmigung im Nachweisverfahren zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen. Die Überprüfung erfolgt auf Grundlage der Datenbank der Bundesnetzagentur und ergab zum [17.04.2019](#) keine Treffer bei zu berücksichtigenden Anlagen.

5.1 Schnitt AC 1

Daten: 2 Gleise mit Kettenwerk Regelquerschnitt mit Verstärkungsleitung beidseitig, Strecke 9121 Referenzquerschnitt km 11,9, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrahthöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 4 m.
 2 Speiseleitungen auf Traverse
 1 entfernte Erde
 Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 464 A
 Erdstrom entfernt 40%

5.2 Schnitt AC 2

Daten: 2 Gleise mit Kettenwerk Regelquerschnitt mit Verstärkungsleitung beidseitig, Strecke 9121 Referenzquerschnitt km 17,6, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrahthöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 4 m.
 1 entfernte Erde
 Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
 Erdstrom entfernt 40%

5.3 Schnitt AC 3

Daten: 2 Gleise mit Kettenwerk Mittelmast, Strecke 9121 Referenzquerschnitt km 15,9, Systemhöhe 1,8 m, Fahrdrahthöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 10 m für überspannte Gleise; Nebengleis zwischen elektrifizierten Gleisen
 1 entfernte Erde
 Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
 Erdstrom entfernt 40%

5.4 Schnitt AC 4

Daten: 2 Gleise, Strecke 9121, Kettenwerk, Regelquerschnitt mit Zweigleisenausleger Referenzquerschnitt km 22,45
Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrathöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 4 m.
2 Speiseleitungen
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
Erdstrom entfernt 40%

5.5 Schnitt AC 5

Daten: 2 Gleise, Strecke 9121, Kettenwerk, Regelquerschnitt mit Zweigleisenausleger Referenzquerschnitt km 20,18
Systemhöhe 1,8 m, Fahrdrathöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 4,5 m.
2 Speiseleitungen
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
Erdstrom entfernt 40%

5.6 Schnitt AC 6

Daten: 2 Hauptgleise mit Kettenwerk, Strecke 9121 Referenzquerschnitt km 20,4, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrathöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 10,5 m, Verstärkungsleitungen beidseitig der Hauptgleise; Abstellgleis zwischen den Hauptgleisen, elektrifiziert.
[1 entfernte Erde](#)
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
Erdstrom entfernt 40%

5.7 Schnitt AC 7

Daten: 2 Gleise, Strecke 9121, Stromschienenoberleitung, Referenzquerschnitt km 28,9, Fahrdrathöhe 4,83 m und Gleismittenabstand 4,0 m, Verlauf im Rechtecktunnel, ohne Verstärkungsleitung.
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 550 A
Erdstrom entfernt 40%

5.8 Schnitt AC 8

Daten: 2 Gleise mit Kettenwerk Regelquerschnitt ohne Verstärkungsleitung, Strecke 9121, Referenzquerschnitt km 32,1, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrathöhe 5,5 m und Gleismittenabstand 4 m.
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 2 x 400 A
Erdstrom entfernt 40%

5.9 Schnitt AC 9

Daten: 1 Gleis mit Kettenwerk, 2 Verstärkungsleitungen, Strecke 9121, Referenzquerschnitt km 26,7, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrathöhe 5,5 m
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 1100 A
Erdstrom entfernt 40%

5.10 Schnitt AC 10

Daten: 1 Gleis mit Kettenwerk, 1 Verstärkungsleitung, 1 Verstärkungskabel, Strecke 9121, Referenzquerschnitt km 23,6, Systemhöhe 1,4 m, Fahrdrathöhe 5,5 m
1 entfernte Erde
Gesamtspeisestrom im Bereich ist 1100 A
Erdstrom entfernt 40%

6 Ergebnisse Grenzwertuntersuchung und Minimierungspotentiale

Die Grenzwertuntersuchungen betreffen die Grenzwerte für das Elektrische Feld und das magnetische Feld. Im Gegensatz zur Magnetischen Feldstärke bzw. der Magnetischen Induktion ist die Elektrische Feldstärke nicht lastabhängig, gut abschirmbar und nicht bauwerksdurchdringend. In Anlage 9 Schnitt E AC 2 ist das Elektrische Feld einer zweigleisigen Strecke mit Verstärkungsleitung, Isolinien je Tausend V/m, dargestellt. Deutlich sichtbar ist die Unterschreitung der Grenzwerte im gesamten öffentlich zugänglichen Bereich. Da die Elektrischen Felder unabhängig vom Strom sind, bestehen sie dauerhaft und gleichbleibend in allen Abschnitten der Strecke.

Für die magnetischen Felder, die vom Strom und nicht von der Spannung bestimmt werden, sind die Untersuchungen in den Abschnitten entlang der Strecke nachfolgend dokumentiert.

6.1 Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Bönningstedt

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind in 4.1 aufgeführt.

Die elektromagnetischen Feldverhältnisse für die Exposition „Schwarzer Weg“ km 11,9 ist in Anlage AC 1 dargestellt. Die einwirkenden Felder können bei x-Wert 0 m abgelesen werden. Die ablesbaren Werte von rund 10 μT sind die größten Feldwerte bei maximaler betrieblicher Auslastung, die kurzzeitig auftreten. Eine Überlagerungsrechnung mit signifikanten Hintergrundfeldern erfolgte nicht.

Die Felder in den bei km 13,8 gelegenen Kleingärten können aus Anlage AC 2 abgelesen werden. Die Anlagen beginnen ab ca. 20 m x-Wert aufsteigend.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.

Aufgrund der Begrenzung des Speisestromes im Umrichterwerk (Feldminimierung bis 50%), die bis zum Bahnhof Bönningstedt wirkt und die dann folgende Begrenzung des Traktionsstroms durch die fahrplanmäßig begrenzte Anzahl der Züge in der Stichspeisung bis zur Landesgrenze ist keine Minderung bei zweiseitiger Speisung zu erwarten. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist nur bei einseitig der Strecke angeordneten Expositionen eine Option. Dies betrifft in dieser Gemarkung den Bereich ab km 12,5. Hier könnten die Verstärkungsleitungen auf die der Exposition abgewandten Seite der Gleistrasse verschwenkt werden. Die resultierenden Feldstärkeminimierungen zeigt ein Vergleich zwischen Schnitt 2 und 2₂ in der Anlage. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung prinzipiell zu favorisieren. Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.

6.2 Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Hasloh

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind [in 4.2 aufgeführt](#).

Die Feldsituation auf Höhe der angegebenen Villa Kunterbunt km 15,9 ist in Anlage AC 3 dargestellt. Die elektromagnetischen Feldspitzen auf Höhe der Villa Kunterbunt können in der Anlage bis x-Wert -3 m abgelesen werden.

Die Gegebenheiten um die Dorfstraße und Kirschenallee, sowie die Situation an der Straße Am alten Kirchweg (km17,6) kann in Anlage AC 2 eingesehen werden. Die Feldwerte sind je nach Objekt bei 9 bis 13 m zur Gleisachse abzulesen, also bis $x=1$ bei 9 m Annäherung für den Minimierungsort bei km 17,6 und x-Wert bei 27 m bei den Häusern nördlich der Kirschenallee.

[Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.](#)

Aufgrund der Begrenzung des Speisestromes im Umrichterwerk ([Feldminimierung bis 50%](#)), die bis zum Bahnhof Bönningstedt wirkt ist keine signifikante Minderung bei zweiseitiger Speisung zu erwarten. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist nur bei einseitig der Strecke angeordneten Expositionen eine Option. Dies betrifft in dieser Gemarkung den Bereich der westlichen Bebauung bis km 15,6, sonst keine längeren Bereiche. Hier könnten die Verstärkungsleitungen auf die der Exposition abgewandten Seite der Gleistrasse verschwenkt werden. Die resultierenden Feldstärkeminimierungen soll ein Vergleich zwischen Schnitt 2 und 2₂ in der Anlage zeigen. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung prinzipiell zu favorisieren. [Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.](#)

6.3 Felder der Expositionsbereiche der Gemarkung Quickborn

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind [in 4.3 aufgeführt](#).

Die Feldmaxima für die am Kilometer 19,8 befindlichen Bebauungen mit einer Annäherung von 7,5 m sind in Anlage AC 2 bei X-Wert 2,5 ablesbar. Einer Feldminimierung durch Verschwenken der Verstärkungsleitung steht eine Verschlechterung der Feldbelastungen in den Wohnbebauungen auf der anderen Trassenseite gegenüber. Der Bahnhof mit seinen Praxen und weiteren Mietern wird durch die Ergebnisse in Anlage AC 5 beschrieben. Die Felder bei stärkster Annäherung sind bei X-Wert 4,5 ablesbar. Am Streckenkilometer 20,4 wird die eventuelle Exposition der Annäherung an die Verkaufseinrichtung nachrichtlich beschrieben. Die Feldbeaufschlagung ist Anhang AC 6 bei $x = 27,5$ zu entnehmen. Da es sich um keine Wohnexposition handelt erfolgt keine Einstufung in die Minimierungs-Expositionen. Die ausgewiesenen kurzzeitigen Feldspitzen werden auf den angrenzenden Verkaufsflächen so nicht auftreten, da jegliche Metallteile der Verkleidung und oder Armierung den Feldeintrag dämpfen.

[Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.](#)

Aufgrund der Begrenzung des Speisestromes im Umrichterwerk (Feldminimierung bis 50%) wird keine signifikante Minderung bei zweiseitiger Speisung erwartet. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist nur bei einseitig der Strecke angeordneten Expositionen eine Option. Dies betrifft in dieser Gemarkung keine längeren Bereiche. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung prinzipiell zu favorisieren. Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.

6.4 Felder der Gemarkung Ellerau/Quickborn

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind in 4.4 aufgeführt.

In den Feld-Schnitten liegt die erste Gleistrasse immer bei $x=10$ m. Bei x -Wert Null kann somit der Feldwert für die Grenze des Bewertungsabstands abgelesen werden. Nur im Bereich der Schienenköpfe, deren Betreten verboten ist, wird (Anlage Schnitt AC 10) der Grenzwert der magnetischen Induktion erreicht. Für alle Expositionsbereiche gilt, dass die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge deutlich unterschritten werden, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.

Mit der Variante der partiellen Eingleisigkeit wurde, zusätzlich zu der vorhandenen Speisestrombegrenzung durch das statische Unterwerk, mit Hilfe des Umgehungs-kabels eine weitere Feldminimierung durch Speisestromreduzierung im eingleisigen Abschnitt erreicht. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist nur bei einseitig der Strecke angeordneten Expositionen eine Option. Dies betrifft in dieser Gemarkung keine längeren Bereiche. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung häufig anwendbar, ist aber nur auf der Mastseite wirksam und bedingt in Verbindung mit Verstärkungsleitungen deutlich höhere Maste. Sie wird in Verbindung mit der realisierten Eingleisigkeit nicht mehr favorisiert. Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.

6.5 Felder der Gemarkung Kaden/Quickborn

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind in 4.5 aufgeführt.

Für den Minimierungsort mit der stärksten Annäherung im o.g. Bereich gilt der Feldwert für $x=23$ im Schnitt AC 9 als Maxima bei größter betrieblicher Auslastung.

Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.

Aufgrund der Begrenzung des Speisestromes im Umrichterwerk (Feldminimierung bis 50%) wird keine signifikante Minderung bei zweiseitiger Speisung erwartet. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist für den Untersuchungsbereich implizit schon angewendet. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung prinzipiell zu favorisieren. Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.

6.6 Felder der Gemarkung Henstedt-Ulzburg

An der nördlichen Grenze dieses Untersuchungsbereiches befindet sich die Streckeneinspeisung aus dem Umrichterwerk. Durch diese technischen Einrichtungen sind keine maßgeblichen Minimierungsorte abgeleitet/betroffen. Die Einhaltung der Grenzwerte ist bei Normgerechter Anlagenerrichtung gegeben (Feldausstrahlung des Bahnsystems in die Außenwelt nach EN 50 1221-1). Da keine maßgeblichen Minimierungsorte vorliegen muss keine Minimierung der Umrichteranlagen erfolgen.

Die Expositionsbereiche und die daraus abgeleiteten maßgeblichen Minimierungsorte dieses Streckenabschnittes sind in 4.6 aufgeführt.

Die Exposition [des Wohnhauses am km 28](#) kann in Anlage AC 2 an x-Wert 2 m abgelesen werden. Bezüglich Hintergrundbelastung wurden im Bereich keine Anlagen angenommen. Die Feldsituationen in Tunnellage sind in Anhang AC 7 aufgeführt. [Es ist zu beachten, dass die dargestellten Felder ohne Dämpfung gerechnet wurden und nur oberhalb der Einschnitte/Tröge gelten. Durch die Bewehrung ist eine zusätzliche Feldminimierung gegeben.](#)

[Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.](#)

Aufgrund der Begrenzung des Speisestromes im Umrichterwerk ([Feldminimierung bis 50%](#)) wird keine signifikante Minderung bei zweiseitiger Speisung erwartet. Eine Minimierung durch Abstandsoptimierung ist nur bei einseitig der Strecke angeordneten Expositionen eine Option. Dies betrifft in dieser Gemarkung keine längeren Bereiche. Die Verwendung von Rückleiterseilen ist aus Sicht der Feldminimierung prinzipiell zu favorisieren. [Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.](#)

6.7 Felder der Gemarkung Kaltenkirchen

In der Gemarkung Kaltenkirchen sind die [Minimierungsorte in der Zusammenstellung der Expositionsbereiche unter 0](#) aufgeführt.

[Die Grenzwerte der 26. BImSchV unter Beachtung der Anforderungen zur Vorsorge werden deutlich unterschritten, sowohl beim E-Feld als auch beim B-Feld.](#)

[Eine Minimierung der elektromagnetischen Felder in der Ortslage Kaltenkirchen ist durch die Speisung zum Streckenende dadurch gegeben, dass nur die Ströme der in Kaltenkirchen fahrenden Fahrzeuge die Felder generieren. Stehende Fahrzeuge haben zum Schutz der Oberleitung nur einen sehr geringen zulässigen Stillstandsstrom und Speiseströme der Strecke fließen vom Umrichterwerk Richtung Hamburg und nicht Richtung Kaltenkirchen. Der Maximalstrom der Fahrzeuge wird erst ab 40 km/h erreicht, sodass im Bereich des Bahnhofes noch kleinere Feldemissionen zu erwarten sind. Alle wesentlichen Minimierungsorte liegen vom Streckenende weniger als einen Kilometer entfernt, wodurch ein Feldminimum gegeben ist. Deshalb ist die Anwendung weiterer Minimierungsoptionen verzichtbar. Die Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung sind gesondert dokumentiert.](#)

7 Zusammenfassung

Für die Planfeststellung der AKN Linie A1 als Weiterführung der S-Bahnlinie S21 im Planfeststellungsabschnitt 2 auf dem Gebiet des Landes Schleswig-Holstein wurde auf Grundlage der Unterlagen für die Genehmigungsplanung ein EMV-Gutachten erstellt, um die Einhaltung der Forderungen aus der 26. BImSchV bezüglich elektrischer und elektromagnetischer Felder im Niederfrequenzbereich nachzuweisen.

Es konnte für alle Expositionen die Einhaltung der Grenzwerte ermittelt werden. Überlappungen von Einwirkbereichen dritter Niederspannungssysteme ergaben sich nicht. Demnach sind keine Bereiche mit mehrfacher signifikanter bzw. „maßgebender“ Feldbeaufschlagung vorhanden. Die Überprüfung der weiterhin zu beachtenden Feldanteile von genehmigungspflichtigen Hochfrequenzanlagen zwischen 9 kHz bis 10 MHz, die eines Nachweisverfahrens zur Begrenzung elektromagnetischer Felder bedürfen, erfolgte auf Grundlage der Datenbank der Bundesnetzagentur. Mit Stand vom 17.04.2019 liegen keine Anlagen im Einflussbereich des Planfeststellungsabschnitts und somit keine zusätzlichen zu beachtenden Feldanteile vor.

Da die Erstellung der Planfeststellungsunterlagen nicht vor dem 4. März 2016 erfolgte wurde die Minimierung der elektrischen und magnetischen Felder gemäß §4 26. BImSchV auf Basis des Stands der Technik nach den Festlegungen in der 26. BImSchVVwV durchgeführt.

Bedingt durch die Trassenführung durch mehrere Ortslagen liegt eine Vielzahl von maßgeblichen Minimierungsorten vor. Sie wurden entlang der gesamten Strecke ermittelt, beschrieben und geordnet nach Gemarkungen bzw. Ortslagen dokumentiert. Maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Bewertungsabstands wurden individuell betrachtet und als solche benannt.

Für alle relevanten Streckenabschnitte der Felduntersuchungen wurden für die jeweiligen Gegebenheiten angepasste Feldmodelle zusammengestellt. Die Ergebnisse der Feldmodelle ermöglichen die Abschätzung und Bewertung der jeweiligen Feldverhältnisse an den maßgeblichen Minimierungsorten und insbesondere eine individuelle Untersuchung der maßgeblichen Minimierungsorte die sich innerhalb des Bewertungsabstands befinden.

Die Grenzwerteinhaltung und die Bewertungen der relevanten Minimierungsmaßnahmen für alle maßgeblichen Minimierungsorte erfolgt geordnet nach Ortslagen. Maßgebliche Minimierungsorte innerhalb des Bewertungsabstands sind individuell bezüglich ihrer Minimierungspotenziale beschrieben. Die Bewertung erfolgte auf Basis des beschriebenen Stand der Technik und unter besonderer Beachtung der Ausführungen der SSK zu aktiven elektronischen Implantaten. Eine Besonderheit stellt das geplante Speisekonzept mit Stichspeisung aus einem Umrichterwerk mit Strombegrenzung auf 1.100 A dar. Diese so nicht in der Verwaltungsvorschrift benannte Option übertrifft das Potential der benannten Optionen Autotransformator, Boostertransformator und Minimierung Fahrstrom durch zweiseitige Speisung im gesamten Planfeststellungsabschnitt. Die weiteren Minimierungsoptionen wurden für jeden maßgeblichen Minimierungsort im Einzelnen untersucht und diskutiert.

Die Ergebnisse und Festlegungen zur Minimierung sind gesondert in einem Dokument der Maßnahmenbewertung und Maßnahmenfestlegung zusammengestellt.

8 Abkürzungen

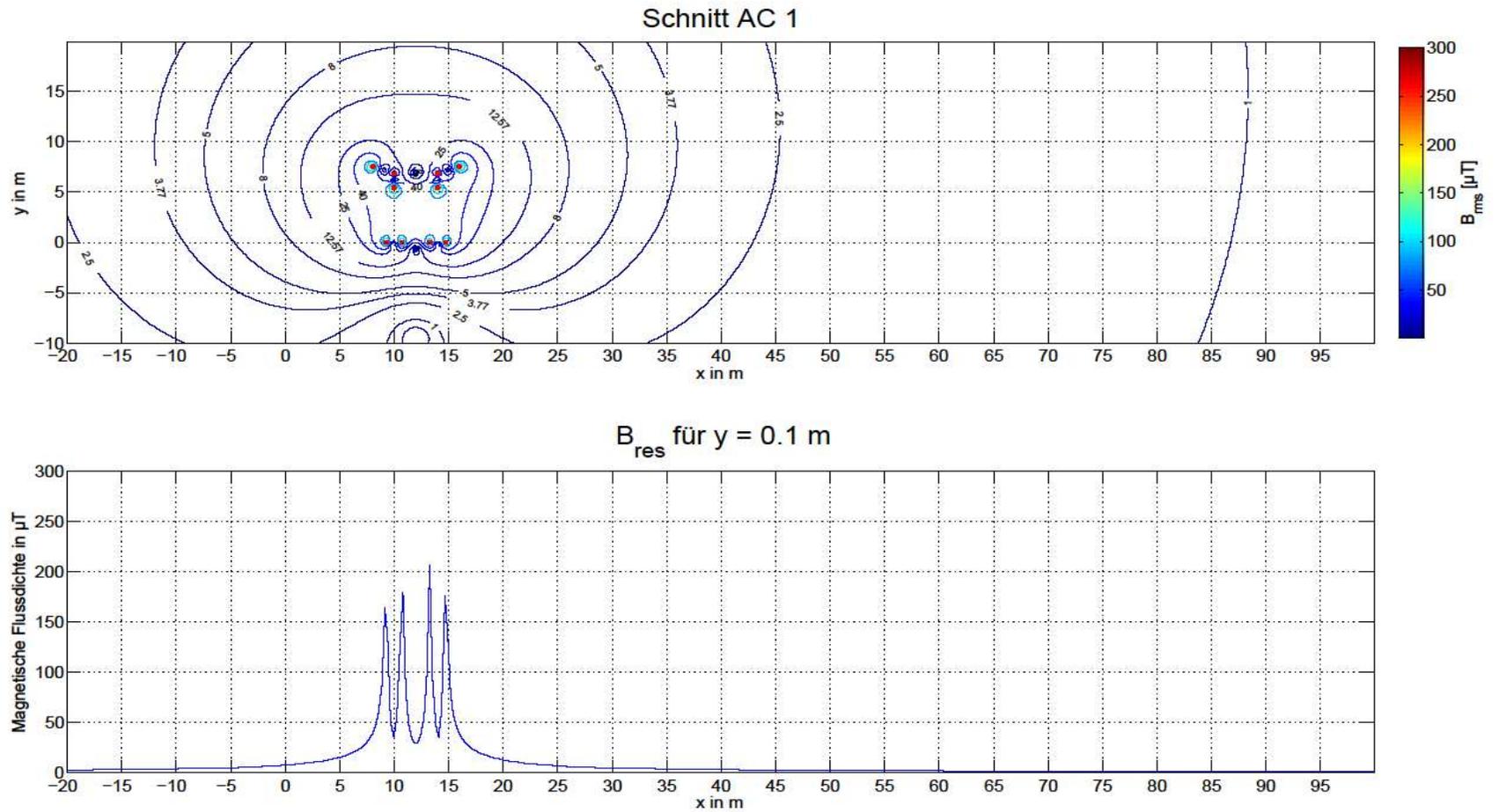
B-Feld:	Feld der magnetischen Induktion
BImSchV:	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BImSchV VwV:	Verwaltungsvorschrift zur Bundes-Immissionsschutzverordnung
EMF:	Elektromagnetische Felder
EMV:	Elektromagnetische Verträglichkeit
E-Feld:	Elektrisches Feld
LAI (2014):	Hinweise zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder; (26. Bundes-Immissionsschutzverordnung) in der überarbeiteten Fassung gemäß Beschluss der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz, 128. Sitzung 17. bis 18. September 2014
SSK:	Strahlenschutzkommission
AC:	Wechselstrom-
DC:	Gleichstrom-
SÜ:	Straßenüberführung
EÜ:	Eisenbahnüberführung
IfB:	Institut für Bahntechnik
MHz:	Megahertz, Frequenz
kHz	Kilohertz, Frequenz
Hz:	Hertz, Frequenz
HES:	Haupterdungsschiene
kV:	Kilovolt
μ T:	Mikro Tesla, Einheit der magnetischen Induktion
VL:	Verstärkungsleitung

- Ende Dokument -

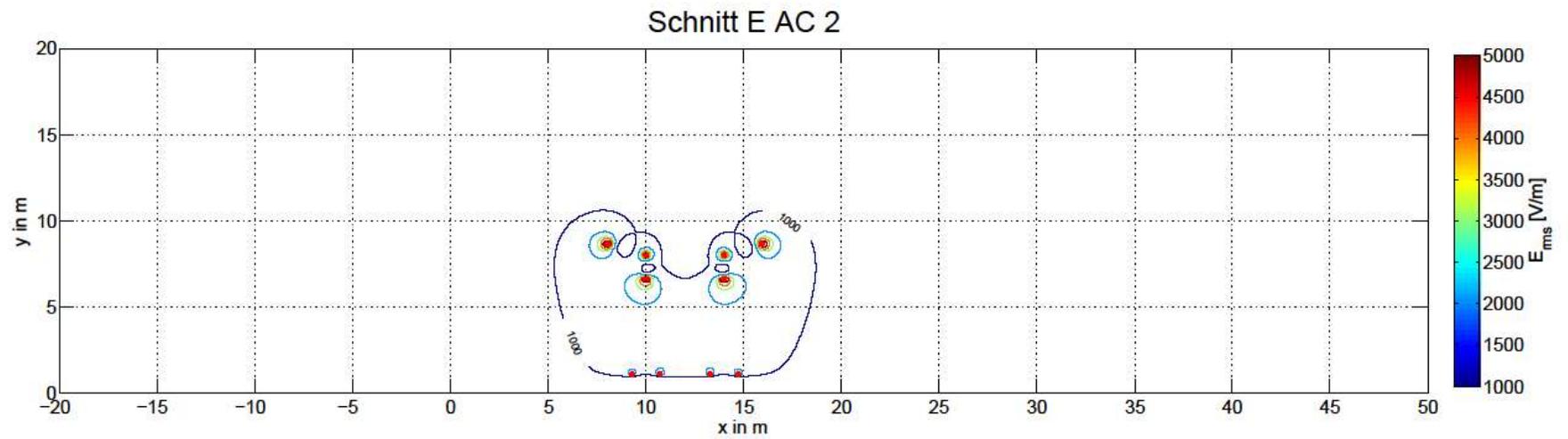


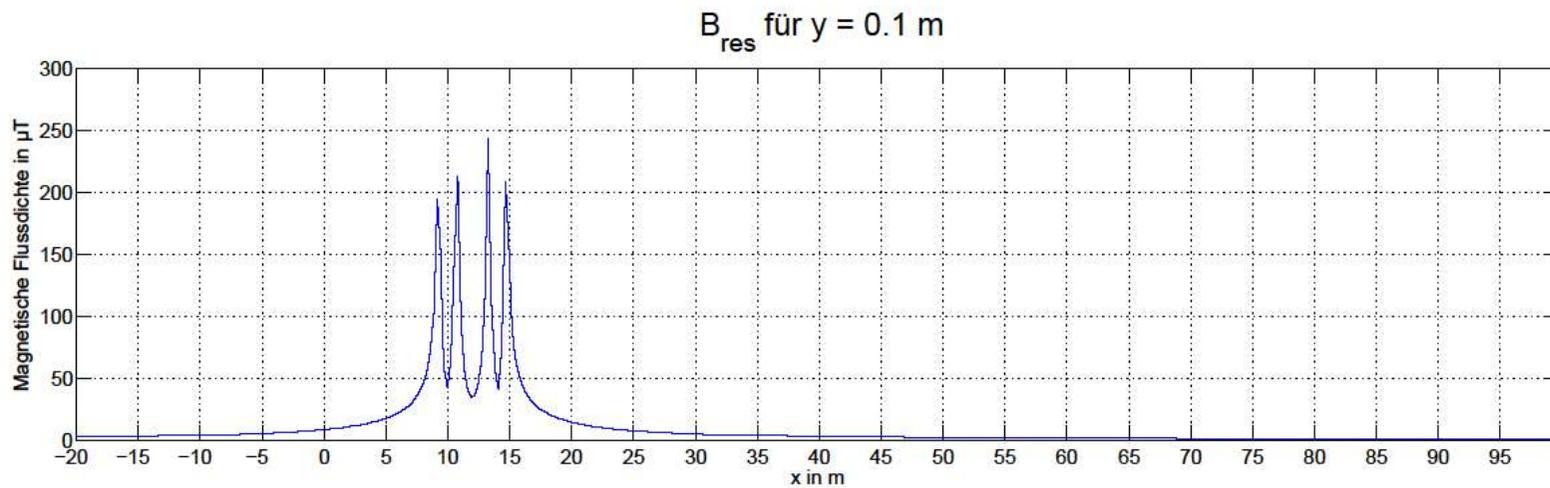
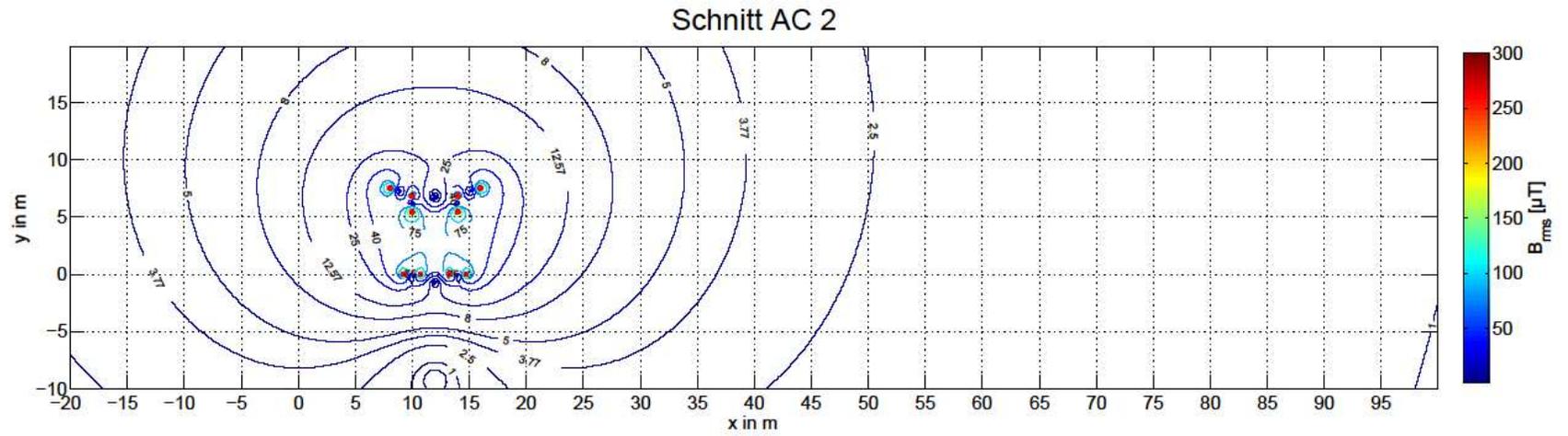
Dr.-Ing. Jochen Hietzge

9 Anlagen

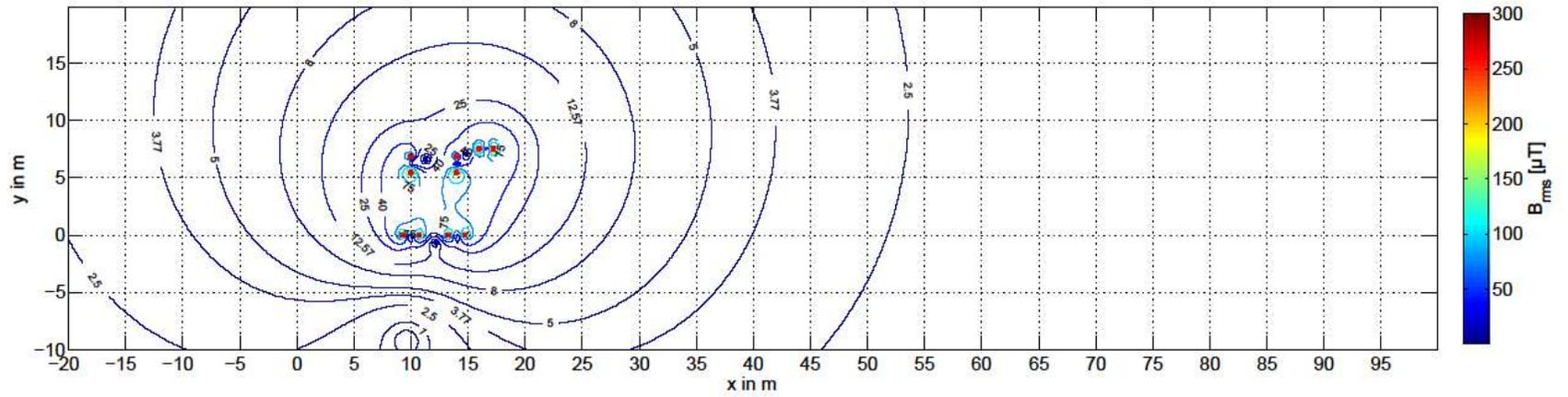


Deckblatt

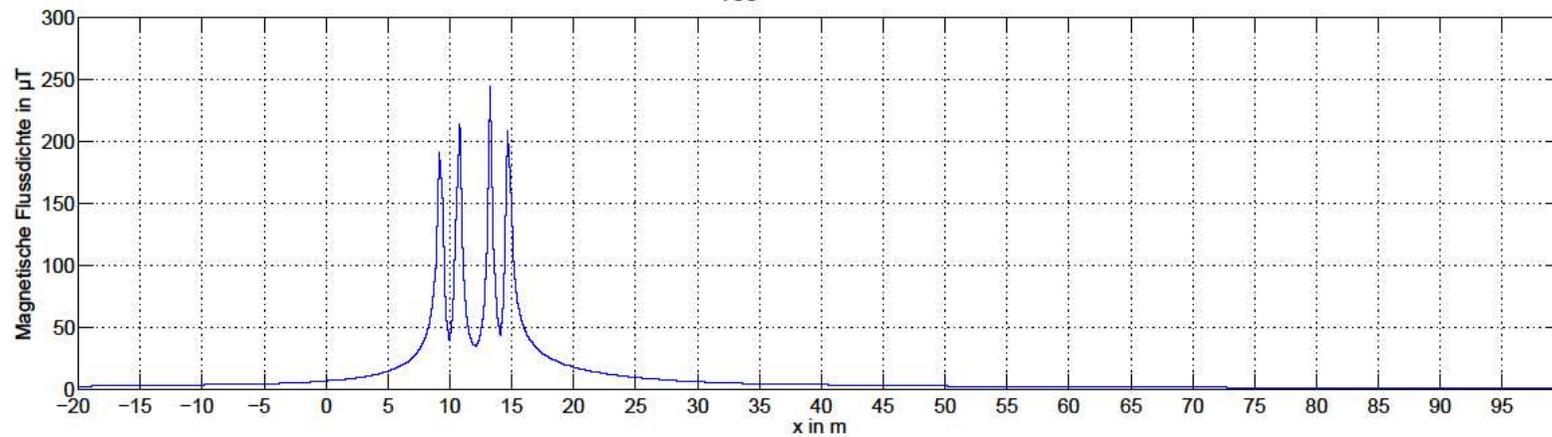


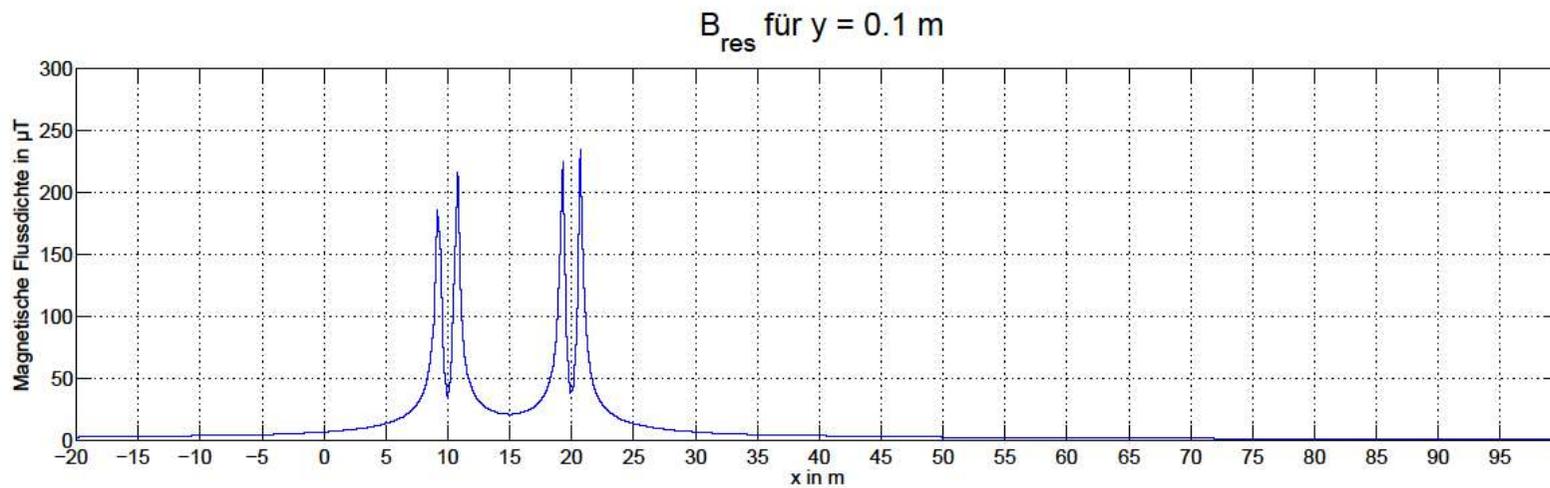
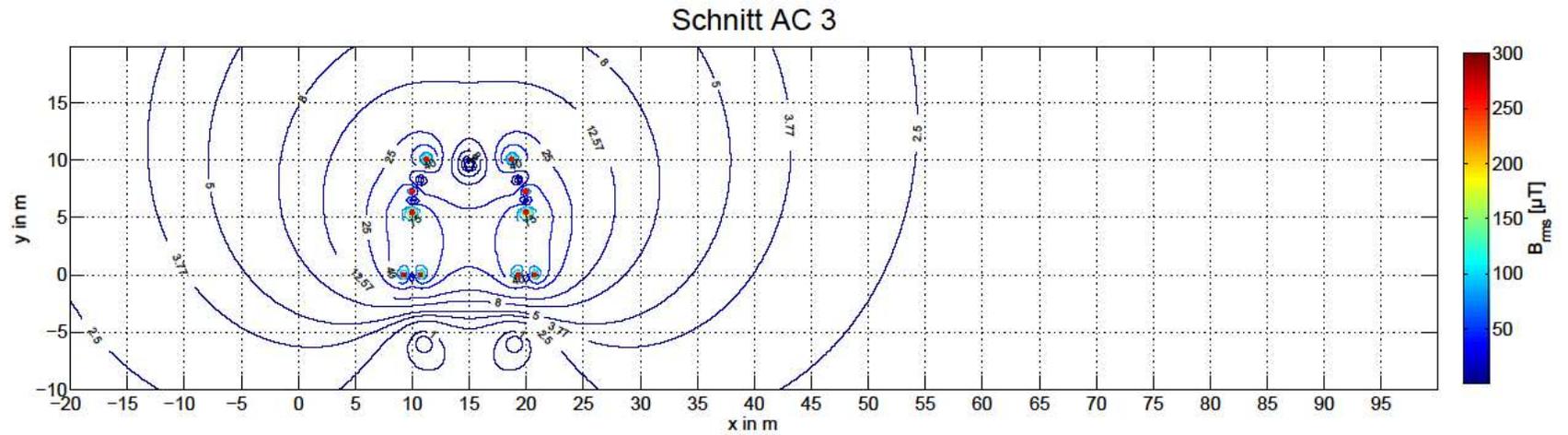


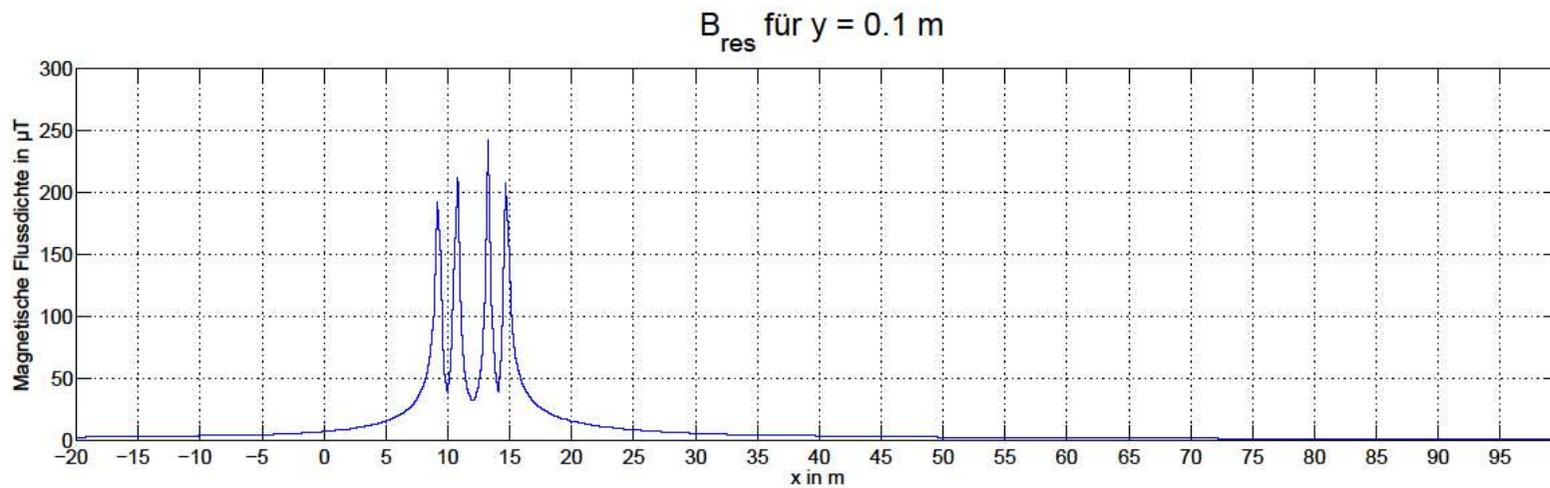
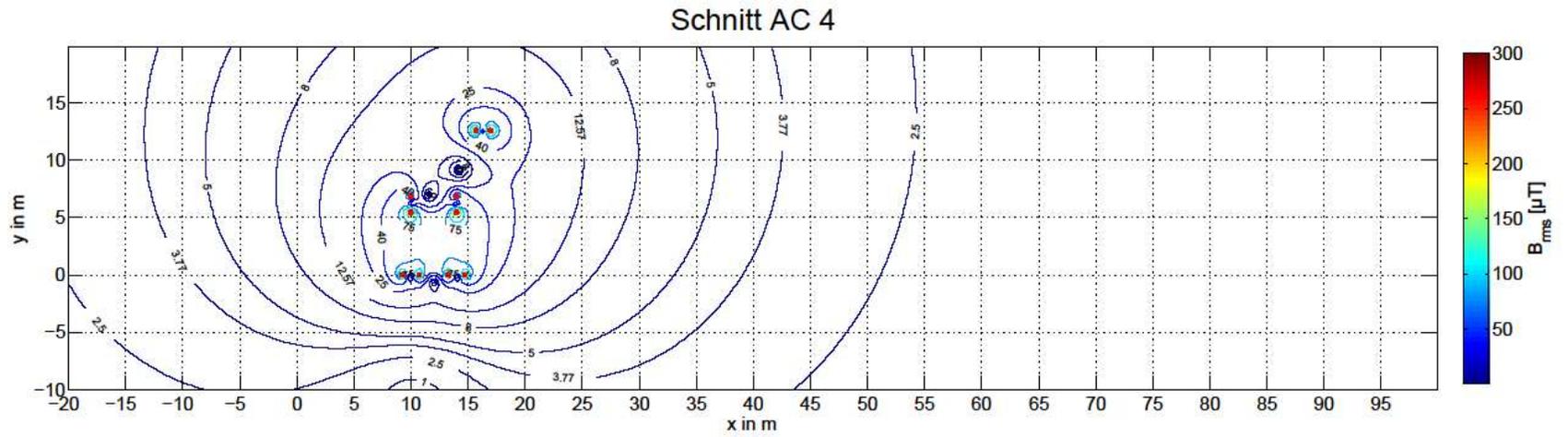
Schnitt AC 2₂



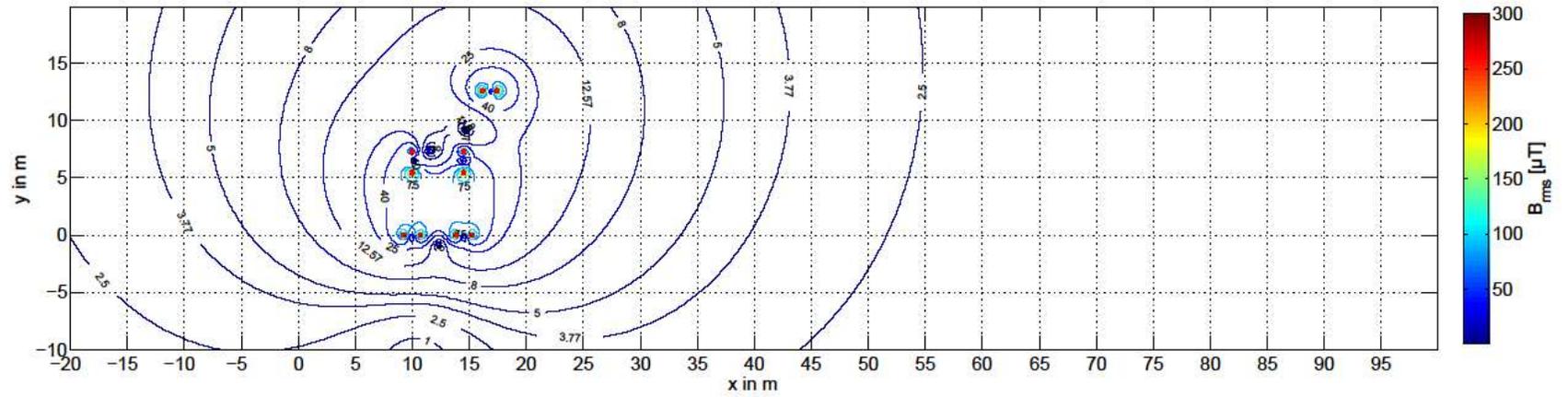
B_{res} für $y = 0.1$ m



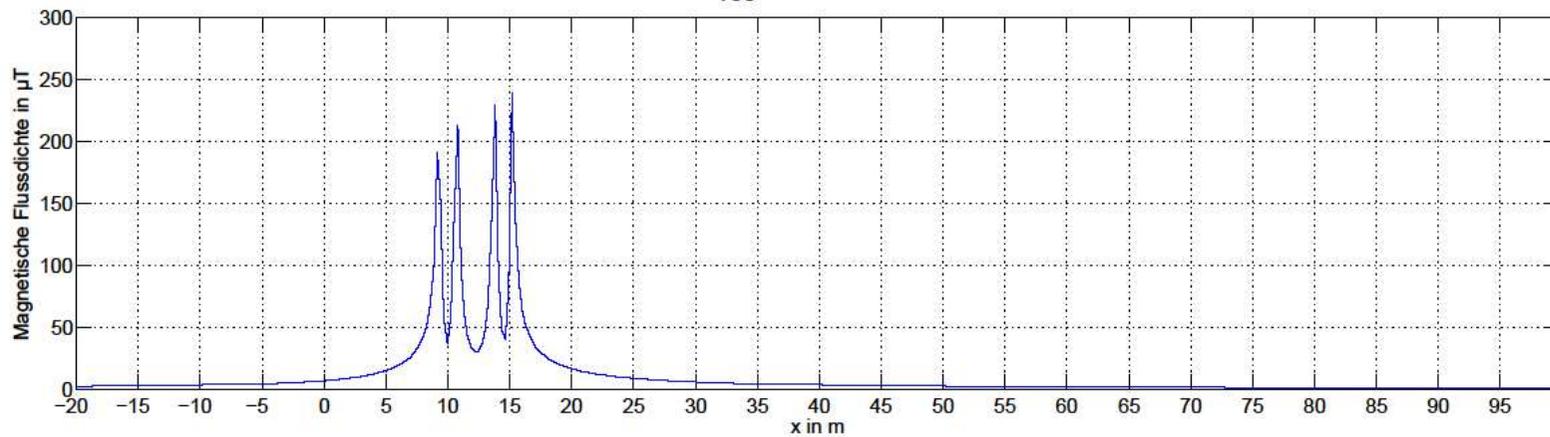


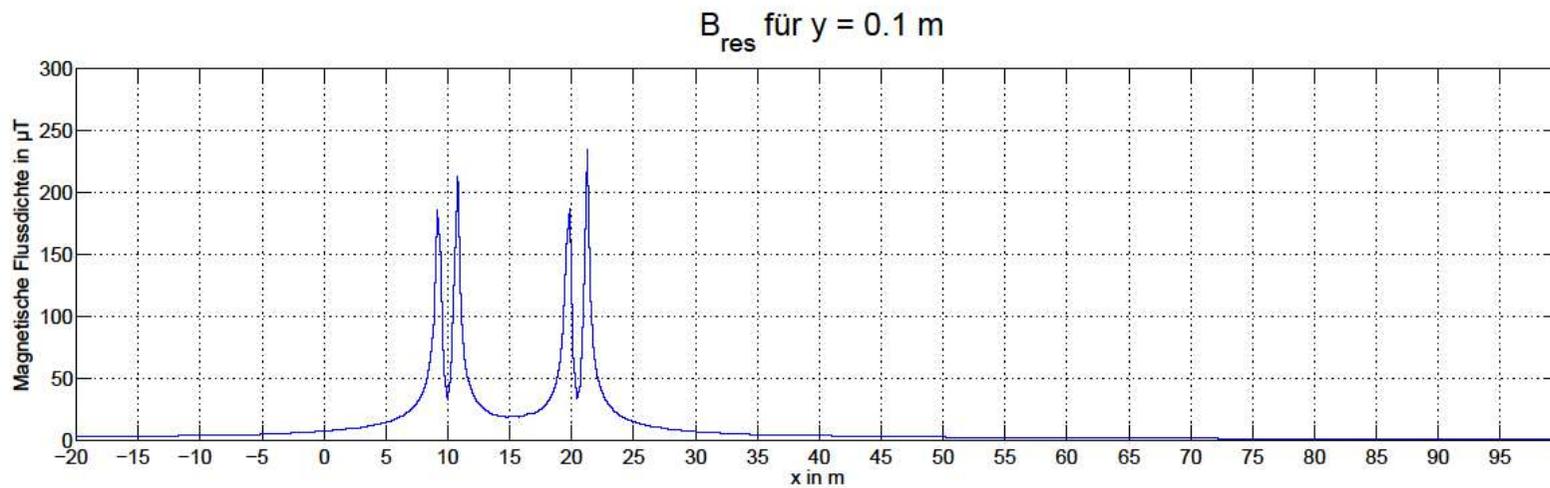
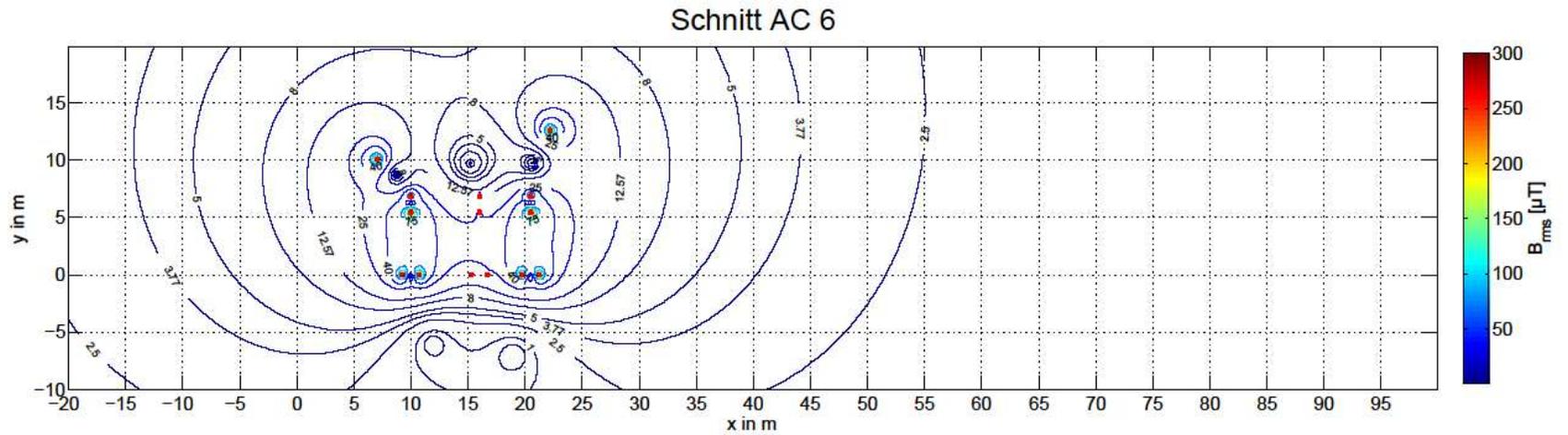


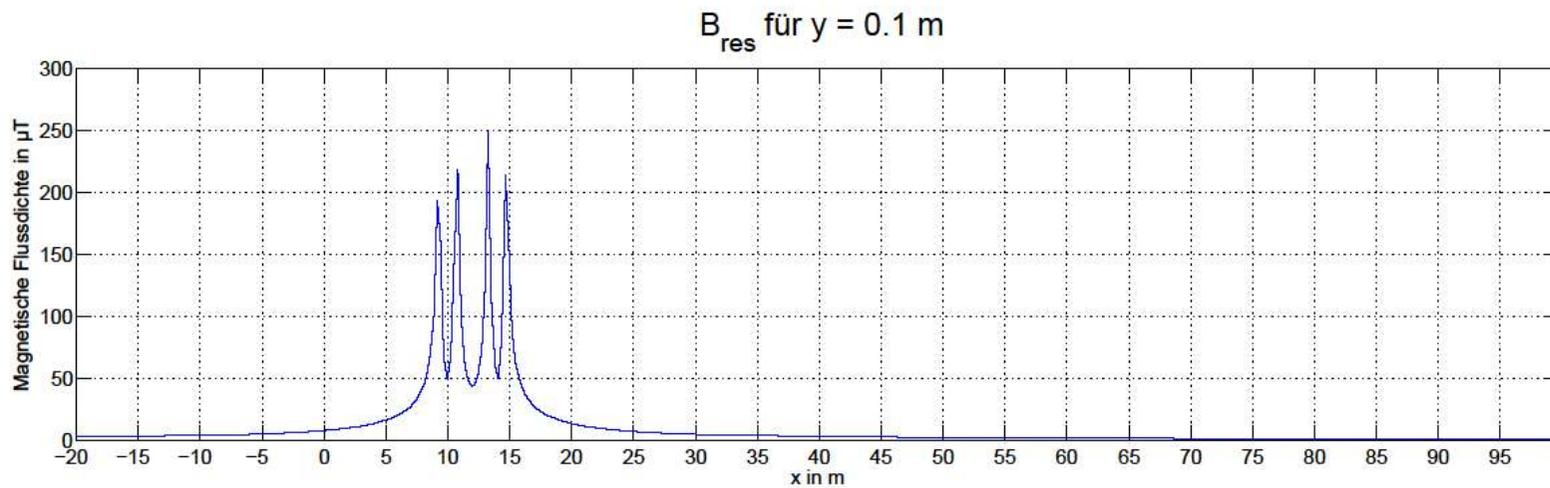
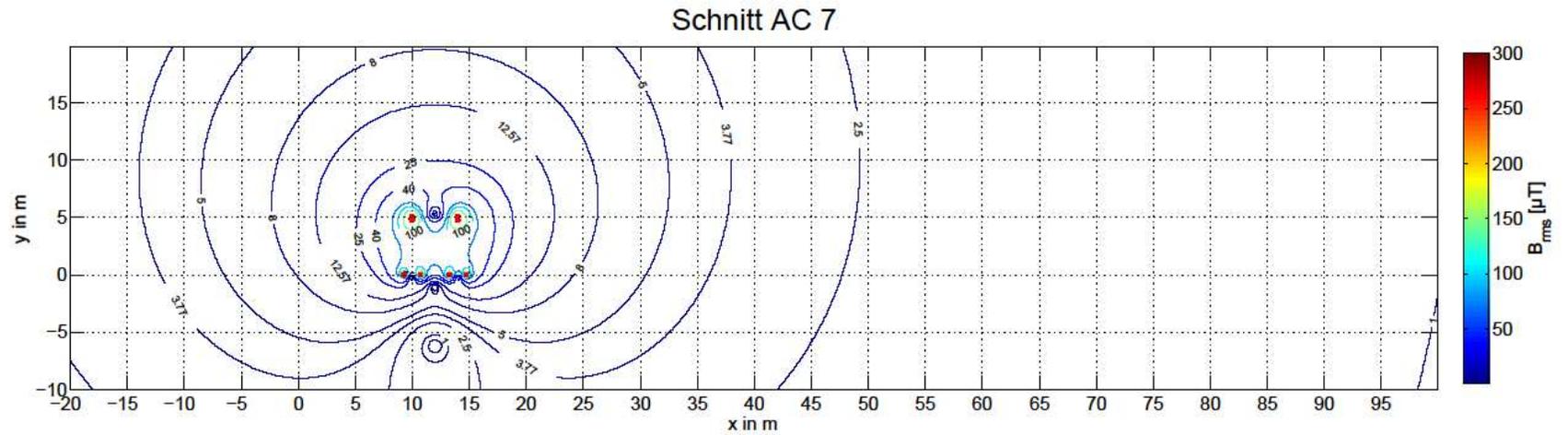
Schnitt AC 5



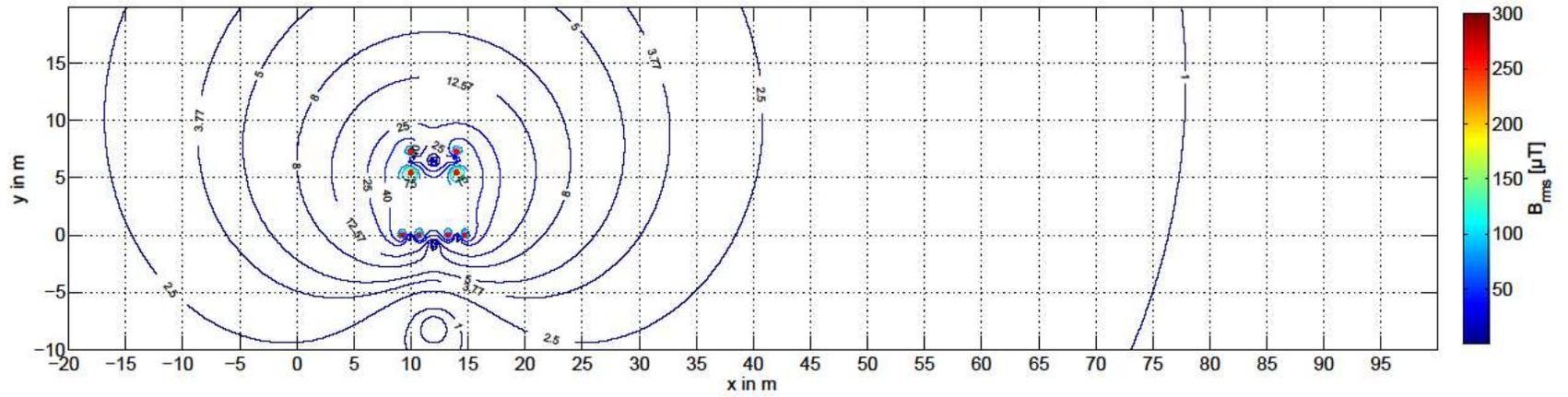
B_{res} für $y = 0.1$ m



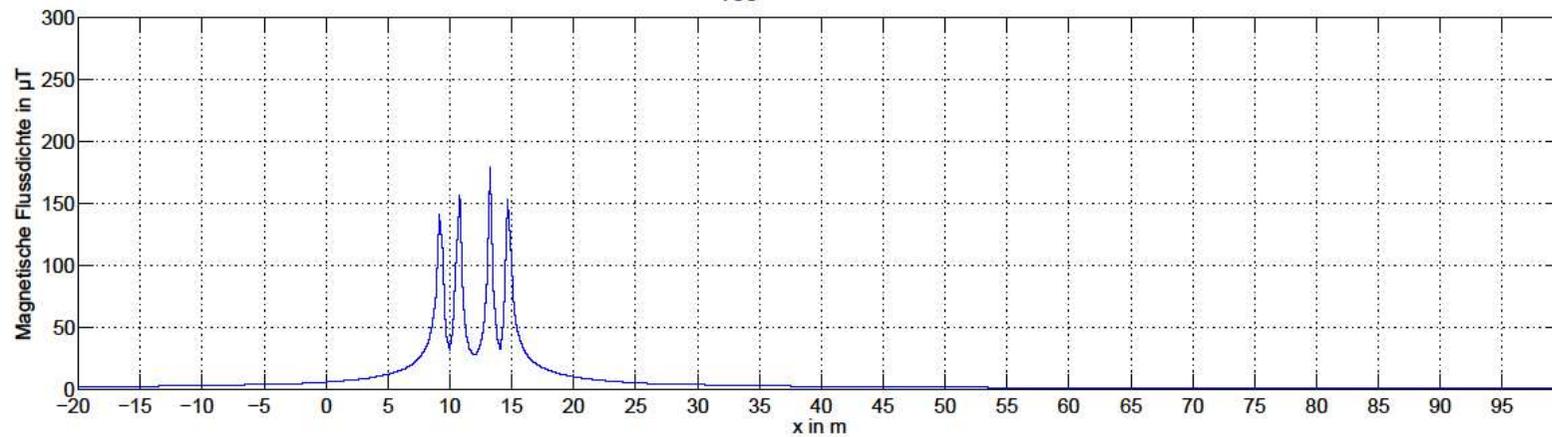




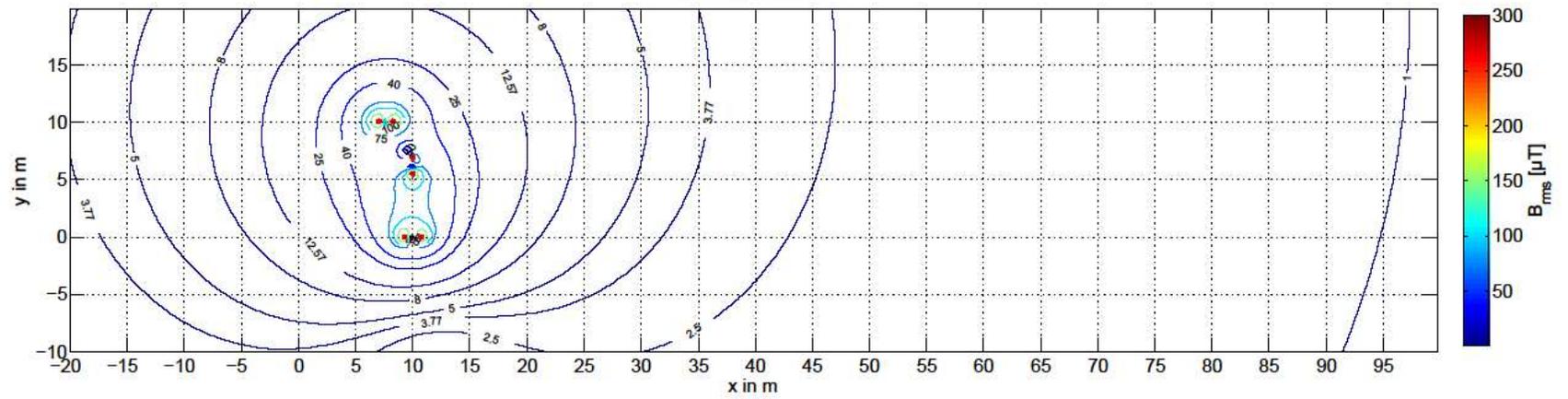
Schnitt AC 8



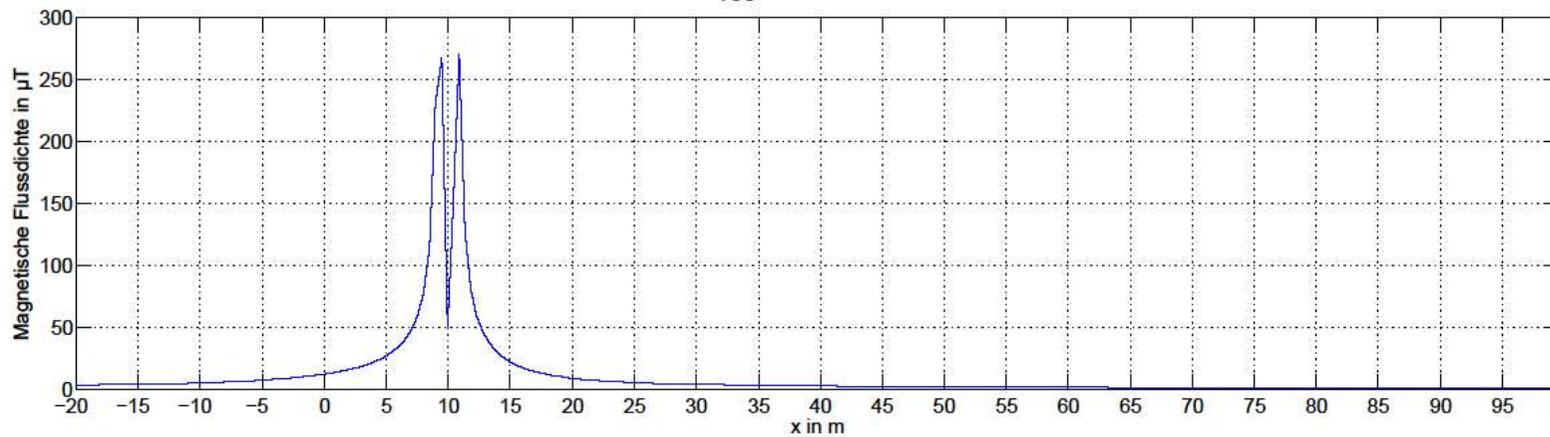
B_{res} für $y = 0.1$ m



Schnitt AC 9



B_{res} für $y = 0.1$ m



Deckblatt

