

Einfluss des Umbaus der Straßenbahnhaltestelle Hauptbahnhof Mannheim auf die elektromagnetische Verträglichkeit

erstellt durch

Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick

Steinbeis Transfer GmbH, Stuttgart

Leiter des Steinbeis-Forschungszentrum Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
Winckelmannstr. 50
01728 Bannewitz

Stand 25.03.2019

Inhalt

1	Gegenstand der Kurzprognose.....	3
2	Einführung.....	3
2.1	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).....	3
2.2	Rechtsgrundlagen.....	4
2.3	Störsenken.....	4
2.4	Straßenbahnspezifische EMV-Betrachtungen	5
2.5	Relevante Kopplungsarten	6
3	Grundlagen und Rahmenbedingungen der Begutachtung	7
3.1	EMV-relevante Einzelheiten der Rahmenplanung	7
3.2	Planungsunterlagen.....	7
3.3	Informationen zur Nutzung	8
3.4	Abschätzung der zu erwartenden Immission	8
4	Auswirkungen des Umbaus im Bereich des Hauptbahnhofs.....	11
5	Schlussfolgerungen	12
6	Abkürzungen und Symbole.....	13
7	Quellenangaben.....	14

1 Gegenstand der Kurzprognose

Die Rhein-Neckar-Verkehr GmbH (rnv) plant den Umbau der Straßenbahnhaltestelle Hauptbahnhof Mannheim. Die existierende Straßenbahnhaltestelle Hauptbahnhof wird um eine Haltestelle mit Bahnsteig C/D erweitert und dabei um 1 Gleis erweitert. Eine wesentliche Gleisverlegung ist im Bereich Kaiserring in Richtung Tattersall geplant.

2 Einführung

2.1 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Von elektromagnetischen Feldern gehen elektromagnetische Effekte aus. Elektromagnetische Felder werden im engeren Sinn dabei in elektrische Felder, magnetische Felder und Hochfrequenzfelder unterschieden. Maßgebliche Unterscheidungskriterien sind die Veränderungen, denen ein elektromagnetisches Feld in räumlicher und zeitlicher Hinsicht unterliegen kann. In Abhängigkeit der unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten werden elektromagnetische Felder in *elektrostatische Felder*, in *magnetische Gleichfelder*, *elektrische und magnetische Wechselfelder* unterteilt. Sind dabei zeitliche und räumliche Änderungen elektrischer und magnetischer Felder miteinander verknüpft, spricht man vom Hochfrequenzfeld.

Die Immission elektromagnetischer Felder am Standort eines Objektes erfolgt ausgehend von einer Emissionsquelle über (zwischen dem Emissionsort und dem Immissionsort gelegene) Leiter bzw. vorhandene Felder.

Elektromagnetische Immissionen führen in der Praxis regelmäßig zu einer Beeinträchtigung eines Objekts (z. B. einer technischen Anlage) beziehungsweise seiner Funktionsfähigkeit und sind daher regelmäßig unerwünscht. Entsprechend wird im elektromagnetischen Störmodell (vgl. Abbildung 1) die Emissionsquelle als **Störquelle** bezeichnet, das vermittelnde Medium (Leiter, Feld) als **Kopplungspfad** und das beeinflusste Gerät als **Störsenke**.



Abbildung 1 Störmodell

Die Kopplung (Übertragung) von der Störquelle zur Störsenke kann dabei

- galvanisch, d. h. über einen gemeinsamen Leiter,
- kapazitiv, d. h. durch die Wirkung des elektrischen Feldes,
- induktiv, d. h. durch die Wirkung des magnetischen Feldes oder
- elektromagnetisch über Hochfrequenzfelder

erfolgen.

Geräte können als Störsenke auch nur in Bezug auf eine bestimmte Feldkomponente eine signifikante Empfindlichkeit aufweisen.

Die juristische Definition der elektromagnetischen Verträglichkeit aus § 3 Nr. 4 des Gesetzes über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln [1] lautet:

„ [...] elektromagnetische Verträglichkeit [ist] die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne elektromagnetische

Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umgebung vorhandene Betriebsmittel unannehmbar wären“.

Unter Betriebsmittel versteht das Gesetz hierbei Geräte und ortsfeste Anlagen.

Ein im jeweiligen Einzelfall gegebenes Emissionsniveau kann unumgänglich sein, wenn ein dem Zweck der emittierenden Anlage entsprechender Betrieb nur unter Inkaufnahme dieses Emissionsniveaus möglich ist.

Es handelt sich um eine allgegenwärtige Problemstellung. Während indes eine einmalige Knackstörung (etwa ein durch das Abschalten eines Kühlschranks verursachtes Knackgeräusch im Radio) in praktischer Hinsicht hinnehmbar sein wird, kann es in anderen Fällen zu gravierenden Störungen bis hin zum Ausfall der Elektronik der Störsenke kommen.

Da Anlagen zugleich Störquelle als auch Störsenke sein können, wird im Rahmen der allgemeinen normativen Anforderungen, z.B. [2] und [3] regelmäßig sowohl die Störaussendung limitiert als auch eine ausreichende Störfestigkeit der Geräte gefordert.

2.2 Rechtsgrundlagen

In Deutschland gilt für Geräte, die in Verkehr gebracht werden und nicht anderen Europäischen Richtlinien unterliegen, das Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG), [1]. Die Einhaltung der formulierten Schutzziele wird vermutet, wenn das Gerät die Anforderungen der einschlägigen Normen einhält, die im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht sind.

Nach EMVG müssen Geräte den in Standards festgeschriebenen Mindestanforderungen hinsichtlich der Störfestigkeit und der Störaussendung genügen. Es ist festzuhalten, dass der niederfrequente Bereich, in dem Beeinflussungen beim Betrieb einer Straßenbahn auftreten können, bis auf die 50/60 Hz-Komponente nicht durch normative Anforderungen erfasst ist.

Für Bahnanwendungen gelten Produktfamiliennormen bzw. Produktnormen der Reihe EN 50121, [5] und [6]. Die Störaussendung des gesamten Bahnsystems ist im Teil 2 dieser Normenreihe geregelt. Die aufgeführten Grenzwerte für die feldgebundene Störaussendung gelten in einem Frequenzbereich von 9 kHz bis 1 GHz und dienen dem Schutz des Funkempfangs. Für Fahrzeuge des städtischen Nahverkehrs dürfen die Grenzwerte der Störaussendung für Fahrschienen mit 750 V Gleichspannung (Stromschiene) nicht überschritten werden. Unterhalb von 9 kHz sind keine Grenzwerte für das magnetische Feld angegeben.

Zusätzlich sind Regelungen zum Schutz von Personen einzuhalten. Die 26. BImSchV (Verordnung über elektromagnetische Felder), [4], regelt den Schutz von Personen gegenüber dynamischen Feldern. Sie gilt in der Umgebung von Hochfrequenzanlagen und Niederfrequenzanlagen (z. B. 100 μ T bei 50 Hz und 300 μ T bei 16 2/3 Hz). Diese Verordnung gilt nicht für Oberleitungen von Gleichstromstraßenbahnen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden,

- dass die Störaussendung der Straßenbahn gegenwärtig unterhalb von 9 kHz nicht durch normative Anforderungen limitiert ist,
- dass oberhalb von 9 kHz Grenzwerte für die Störaussendung und die Störfestigkeit existieren, so dass bei CE-gekennzeichneten Geräten mit keiner Beeinflussung zu rechnen ist.

2.3 Störsenken

Als Störsenke sind im Fall einer Straßenbahntrasse insbesondere Geräte zu betrachten, die aufgrund physikalischer Effekte (Lorenzkraft, Larmorfrequenz) direkt auf magnetische Felder reagieren, wie z. B. Elektronenstrahlröhren oder Kernspintomographen. Besonders im Forschungsbetrieb und im medizinischen Bereich werden Geräte verwendet, die eine sehr hohe Empfindlichkeit gegen externe Felder besitzen können.

Elektronenmikroskope werden durch magnetische Felder beeinflusst, da insbesondere der - meist vertikale - Elektronenstrahl eines Elektronenmikroskops durch horizontale Magnetfelder abgelenkt wird, wodurch sich die Qualität der Bildgebung (Auflösung) verringert. Bei Magnetresonanztomographen (MRT) bedingt ein äußeres Magnetfeld eine Verschiebung der Larmorfrequenz, infolge dessen verringert sich ebenfalls die Auflösung. Die Sensibilität existiert insbesondere für sich langsam ändernde magnetische Felder in Richtung des B_0 -Feldes. Die Empfindlichkeitsgrenze ist abhängig vom Betriebsmodus der Geräte und minimal bei reiner Spektroskopie. Die Empfindlichkeit wird angegeben als Spitze-Spitze Wert (Pk-Pk), d. h. der Unterschied zwischen maximalen und minimalen Wert in einem Zeitintervall, da die Geräte auf die Änderung des Feldes reagieren.

Dabei bestehen Möglichkeiten zur Reduzierung der Emissionen in eine Störsenke beziehungsweise zur Erhöhung der Störfestigkeit der Störsenke.

Diese sind einzelfallabhängig zu betrachten, wobei folgende Maßnahmen in Betracht kommen:

- Änderung des Nutzungszweckes (beim MRT z. B. Bildgebung oder Spektroskopie),
- Änderung der räumlichen Ausrichtung eines Gerätes bei gegebener Empfindlichkeit gegenüber ausschließlich einzelner Feldkomponenten (x, y, z),
- aktive Kompensation (durch Gegenfelder),
- direkte Abschirmung des Gerätes oder von Gerätekomponenten.

Maßnahmen zur direkten Abschirmung von magnetischen Gleichfeldern sowie von sehr langsam veränderlichen Magnetfeldern machen aufgrund physikalischer Zusammenhänge sehr hohe Wandstärken (Abschirmung aus hochpermeablem Material) erforderlich, [7]. In der Praxis kommen Maßnahmen der direkten Abschirmung bei gleich-, niederfrequenten und sehr langsam veränderlichen Magnetfeldern nur in Spezialfällen zum Einsatz. Die aktive Kompensation hingegen ist weit verbreitet zur Reduktion der Wirkungen von Gleichfeldschwankungen auf Elektronenmikroskopen.

Sonstige Geräte, die in heutigen Gebäuden vorhanden sind, weisen in der Regel keine Empfindlichkeit gegenüber magnetischen Gleichfeldschwankungen auf und sind damit unempfindlich gegenüber der Emission der Straßenbahn.

2.4 Straßenbahnspezifische EMV-Betrachtungen

Bei einem Straßenbahnbetrieb fließt der Fahrstrom vom Unterwerk über die Oberleitung sowie über die Straßenbahn zur Schiene und über die Schienen zurück zum Unterwerk. Dadurch entsteht eine Spulenanordnung. Die resultierende magnetische Feldstärke ist von der Stromaufnahme der Fahrzeuge und der Auslastung des Speiseabschnittes abhängig. Hohe Oberleitungsströme treten in der Beschleunigungsphase auf, wohingegen bei einem „Rollen“ der Bahn geringere Ströme fließen.

Die Stromaufnahme der Straßenbahnen ist typspezifisch und liegt im Regelfall zwischen 800 A und 1600 A. Im Straßenbahnnormalbetrieb kommt es regelmäßig zum Begegnungsverkehr, das heißt in jede Richtung fährt eine Straßenbahn mit maximaler Stromaufnahme, so dass sich die erzeugten magnetischen Felder der beiden Straßenbahnen überlagern. Hochfrequenzfelder durch elektronische Komponenten oder Abrissfunken an Oberleitungstrennern bzw. vereisten Oberleitungen werden ebenfalls erzeugt.

Die Anbindung des Unterwerkes erfolgt in der Regel über eine streufeldarme Verlegung der Kabel. Ist die elektrische Isolierung der Schienen zum Erdreich eingeschränkt, kann ein Teil des eigentlich über die Schienen fließenden Rückstromes als sogenannter Streustrom über das Erdreich fließen.

Neben dem Einfluss durch den Strom ist auch allein durch die Anwesenheit einer Straßenbahn ein Einfluss auf die magnetische Flussdichte in der Umgebung zu erwarten. Dieser wird durch die Feldverzerrung der ferromagnetischen Materialien wie Eisen und Stahl in der Straßenbahn hervorgerufen, da sich die Ferromagnete entsprechend ihrer magnetischen Momente parallel zum äußeren Magnetfeld ausrichten. Dadurch wird das Erdmagnetfeld verzerrt.

2.5 Relevante Kopplungsarten

Der Betrieb der Straßenbahn wird sowohl elektrische und magnetische Felder als auch elektromagnetische Hochfrequenzfelder generieren. Die relevanten Kopplungsarten mit üblichen Geräten sind im Folgenden dargestellt.

Tabelle 1 Bewertung der zu berücksichtigenden Kopplungsarten

Kopplungsart	Bewertung	Betrachtung erforderlich
Kapazitiv	Die zu prognostizierenden Feldstärken sind vernachlässigbar gering	Nein
Galvanisch	Die Schienen sind mit einem Ableitungsbelag von 0,5 S/km je Gleis verlegt, so dass die geringen Streuströme nicht zu galvanischen Verkopplungen führen	Nein
Induktiv – Gleichfeldänderungen	Durch den Gleichstrombetrieb der Straßenbahn werden magnetische Gleichfeldänderungen verursacht	Ja
Induktiv -Wechselfelder	Durch die Gleichrichtung im Unterwerk können auch niederfrequente magnetische Felder mit einer Frequenz von 300 Hz sowie deren Oberwellen entstehen. Diese Feldanteile sind von der Amplitude wesentlich geringer als die Gleichfeldänderungen und damit unkritischer	Nein
Hochfrequenz	Die Störfestigkeit der Geräte gegenüber elektromagnetischen Feldern ist aufgrund der Normungssituation gewährleistet (CE-Kennzeichnung)	Nein

Aus der Tabelle folgt, dass nur die Gleichfeldänderungen zur Bewertung herangezogen werden müssen. Die Gleichfeldänderungen lassen sich vorliegend auf zwei Ursachen zurückführen:

1. Änderungen aufgrund des Betriebsstromes der Straßenbahn,
2. Änderungen aufgrund der magnetisierbaren Fahrzeugmasse.

Ab einem Abstand von 50 m von der Gleismitte kann der Einfluss der magnetisierbaren Fahrzeugmasse vernachlässigt werden, da die resultierenden Gleichfeldänderungen sehr klein sind. Werden extrem empfindliche Geräte in Gebäudeteilen installiert, die größere Abstände zur Trasse haben, können keine Beeinträchtigungen auftreten. Die Verzerrung des Gleichfeldes wird in diesem Gutachten nicht betrachtet.

3 Grundlagen und Rahmenbedingungen der Begutachtung

3.1 EMV-relevante Einzelheiten der Rahmenplanung

Für die Straßenbahntrasse existieren folgende Randbedingungen:

- Standard Regelfahrdrahthöhe ist 5,5 m,
- Fahrdraht als Einfachfahrdraht,
- die standardmäßige Stromaufnahme einer Straßenbahn mit zwei Traktionswagen beträgt bei maximaler Beschleunigung 1600 A,
- es fährt in einem Speiseabschnitt in jede Richtung eine Bahn, d. h. maximal 2 Bahnen,
- 1 Unterwerk (UW, V14) zur Versorgung der Oberleitung mit dem Standort im Bereich der Wendeschleife westlich der Haltestelle Mannheim Hauptbahnhof,
- einseitige Speisung der Oberleitungsabschnitte.

Diese Parameter wurden der Berechnung zu Grunde gelegt.

3.2 Planungsunterlagen

Zur Erstellung des Gutachtens wurden folgende Planungsunterlagen verwendet:

- Lageplan: Neubau und Kapazitätserweiterung der Haltestelle Mannheim Hauptbahnhof, Fahrleitungsplan Entwurf, 06.12.2018
- Lageplan: M173 - Neuordnung & Kapazitätserweiterung Haltestelle Mannheim Hauptbahnhof, Bestand, 09/2018

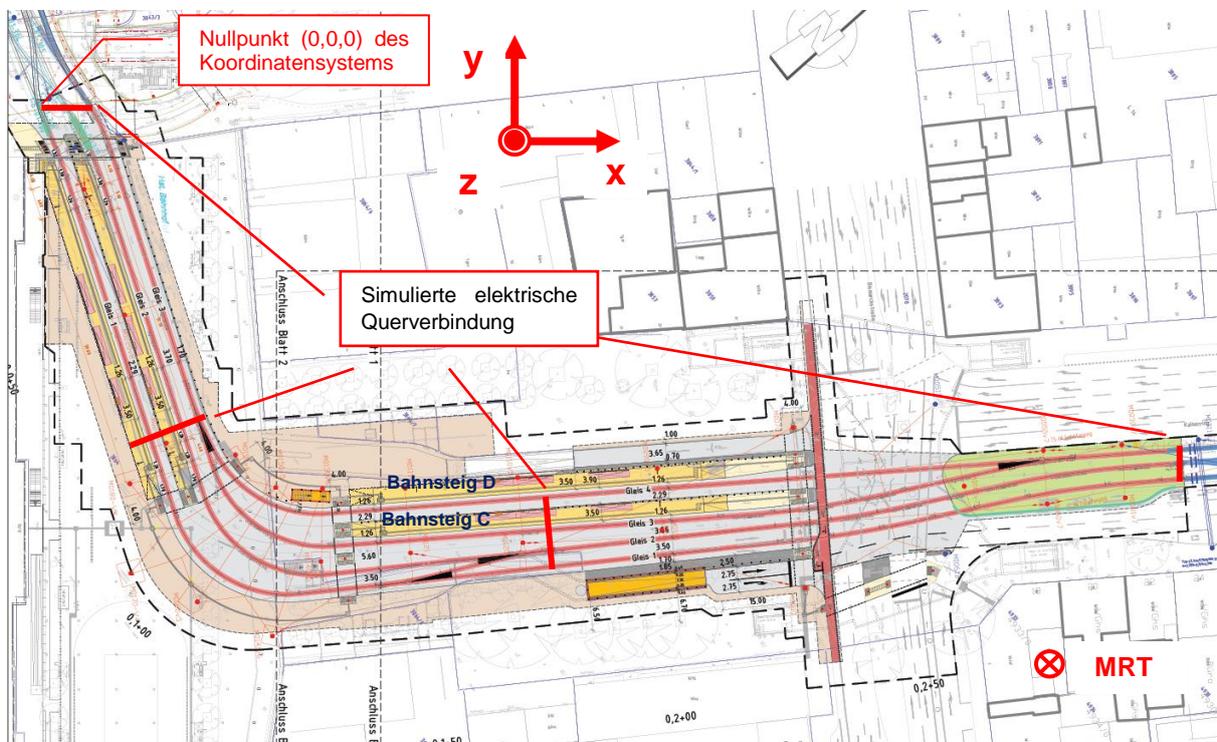


Abbildung 2 Lageplan mit Koordinatensystem (schematische Darstellung der Querverbindungen)

3.3 Informationen zur Nutzung

Die örtlichen Gegebenheiten wurden am 22.11.2018 besichtigt. In der unmittelbaren Nähe der Straßenbahntrasse liegt eine gemischte Gewerbe- und Wohnnutzung vor. Augenscheinlich wird nur am Standort Kaiserring Nr. 18 ein beeinflussbares Gerät, ein active shielded offenes MRT (Philips Panorama 1.0T) betrieben. Der Standort des Gerätes ist in Abbildung 2 gekennzeichnet. Der minimale Abstand zum nächstgelegenen Gleis verringert sich von ca. 35 m auf 34 m. Siemens gibt für MRTs (horizontale B_0 -Komponente) an, dass für einen ordnungsgemäßen Betrieb ein Mindestabstand zu Straßenbahnen von 40 m eingehalten werden sollte. Das ist bereits nach der Bestandsplanung nicht eingehalten.

Eine genauere Analyse ist anhand der am Installationsort auftretenden Streufelder möglich. Das B_0 -Feld des MRT ist vertikal (in z-Richtung) orientiert. Nach Datenangaben ist MR-Spektroskopie nicht vorgesehen, so dass bekannte Toleranzwerte von MRT gegenüber externen Magnetfeldschwankungen in B_0 -Richtung genutzt werden können. Bei konventioneller Bildgebung mit langsamen oder gemäßigt schnellen Sequenzen MRT treten Beeinflussungen bei Magnetfeldschwankung größer $2,5 \mu\text{T}$ auf. Bei der Verwendung von ultraschnellen Sequenzen, z.B. zur funktionellen MRT, können Magnetfeldschwankungen $>0,1 \mu\text{T}$ zu Problemen führen.

3.4 Abschätzung der zu erwartenden Immission

Die Prognose der magnetischen Feldänderungen erfolgt durch Simulation mit einem numerischen Tool oder durch eine analytische Berechnung. Bei der Simulation wird die Strecke durch ein Drahtmodell vereinfacht, wobei die Oberleitung mit einem Strom gespeist wird, welcher über die Straßenbahn zum Gleis fließt. Der Einfluss der Gebäudestrukturen auf die Feldverteilung wird vernachlässigt.

Das Unterwerk V14 ist im Bereich der Wendeschleife westlich der Haltestelle Mannheim Hauptbahnhof angeordnet. Der Streckenabschnitt wird mit allen Fahrdrähten von dort einseitig gespeist, wobei der Trenner auf 4148 A eingestellt ist. Der Teilabschnitt ist am Abzweig Tattersall über Streckentrenner elektrisch von den folgenden Trassenabschnitten getrennt, welche über ein Unterwerk im Bereich Tattersall gespeist werden.

Die Schienenfüße werden nach neuesten Standards ummantelt sein. Es kann angenommen werden, dass nach der Baumaßnahme geringere Streuströme über das Erdreich fließen, als im jetzigen Zustand. Für die Analyse wird eine ideale Isolation zwischen Schienen und Erdreich angenommen, so dass der gesamte Strom der Straßenbahn nur über die Schienen zum Unterwerk zurückfließt.

Die Berechnungen erfolgten für den Worst Case mit einem Fahrtstrom von 1600 A je Bahn. Zusätzlich wird angenommen, dass eine Bahn aus Richtung Tattersall in den neuen Haltestellenbereich hineinfährt und gleichzeitig eine Bahn in Richtung Tattersall herausfährt. Der Gesamtstrom bei Beachtung beider Richtungsfahrten beträgt 3200 A. Das stellt eine Überschätzung der realen Situation dar, da bei Messungen am Unterwerk nur ein maximaler Strom von knapp 2500 A gemessen wurde.

Für den zu begutachteten Fall wurden analytische Modelle der Strecke, vgl. Abbildung 3/4, mit den relevanten Gleisen verwendet. Die einfahrende Bahn nutzt Gleis 4 und die ausfahrende Bahn Gleis 1.

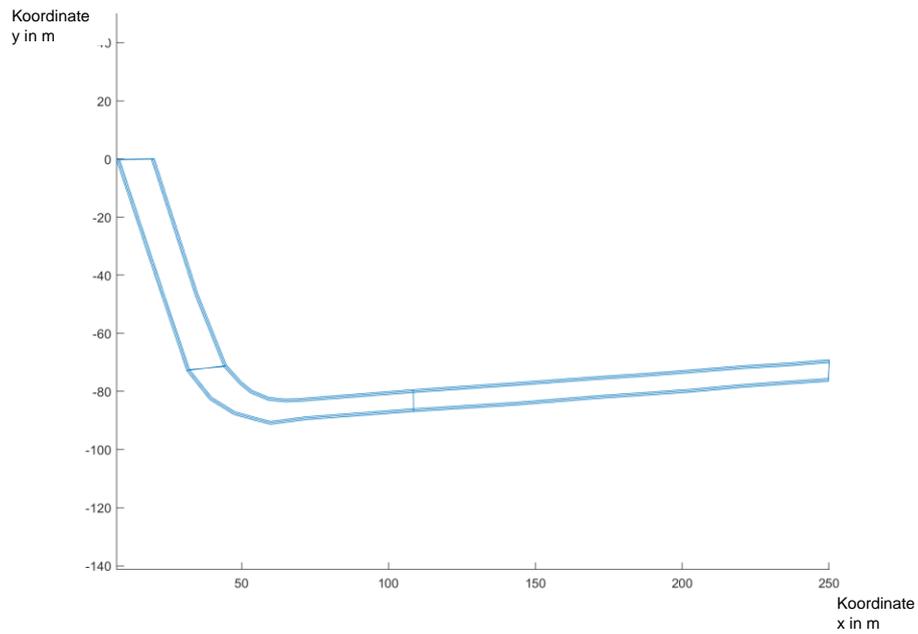


Abbildung 3 Modell der vorhandenen Strecke (Außengleise), x und y Koordinate mit Nullpunkt nach Abb. 2

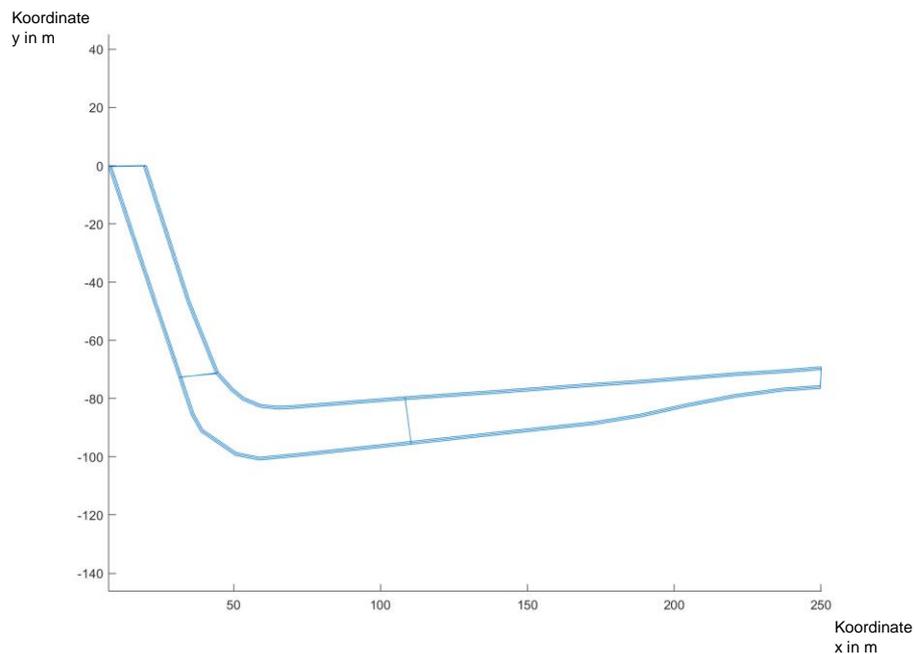


Abbildung 4 Modell der geplanten Strecke (Außengleise), x und y Koordinate mit Nullpunkt nach Abb. 2

Die magnetische Flussdichte wurde an verschiedenen Punkten berechnet, wobei die maximale Feldänderung unter Berücksichtigung von mehreren Bahnpositionen entlang der Strecke (Fahrt der Bahnen) ermittelt wurde. Die Berechnung wurde für den Istzustand (Bestandsplanung) und die Entwurfsplanung durchgeführt. Die Werte wurden gesondert nach den Feldkomponenten (x-, y-, z-Richtung) tabellarisch zusammengefasst und bewertet.

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Höhe des Erdniveaus an den Gebäuden ist gleich dem Höhenniveau der Straßenbahnschienen.
- Der Rückspeisestrom beim Bremsen wird vernachlässigt.
- Der Fahrdraht ist ein Einfachdraht und hat eine Fahrdrahthöhe $h = 5,5$ m über Schienenoberkante.
- An vier Stellen sind jeweils die Gleise und die Fahrleitung elektrisch miteinander verbunden (Querverbindung).
- Die Spurweite der Straßenbahn beträgt 1 m. In der Mitte der Gleise verläuft der Fahrdraht.

Im Nahbereich ist die Magnetfeldänderung stark abstandsabhängig. Da der Abstand zwischen Gebäuden und Straßenbahn sehr gering ist, haben bereits geringe Änderungen des Abstandes einen größeren Einfluss auf die Magnetfeldstärke.

4 Auswirkungen des Umbaus im Bereich des Hauptbahnhofs

In diesem Abschnitt werden mögliche Auswirkungen des Umbaus im Bereich des Hauptbahnhofs aufgezeigt.

In dem Bereich Hauptbahnhof wird bereits eine Straßenbahn betrieben. Immissionen durch Straßenbahnen sind dementsprechend bereits vorhanden. Als zusätzliche Vorbelastung sind die niederfrequenten Magnetfelder (16 2/3 Hz) durch die Eisenbahn zu berücksichtigen. Die Umgebung ist daher für die Installation besonders empfindlicher Geräte weniger gut geeignet.

Im Rahmen des Umbaus wird es nur im Bereich der neu geplanten Bahnsteige C/D im Kaiserring und im Anschluss an die Gleise in Richtung Tattersall eine wesentliche Gleisverlegung geben. Dadurch werden die Gleise in Richtung Willy-Brandt-Platz 5 und Kaiserring 2, 10-12, 14-16, 18 verschoben und ein zusätzliches Gleis verlegt. Auf dieser Straßenseite verringern sich die Abstände zwischen Gebäuden und Straßenbahntrasse, wodurch sich die Immission durch die Straßenbahn erhöht. Insbesondere im Nahbereich der Trasse können sich die Flussdichten erhöhen.

Tabelle 2 Gegenüberstellung der magnetischen Flussdichten nach Bestand und Planung

Standort	Bestandsplanung B in μT				Entwurfsplanung B in μT			
	B_x	B_y	B_z	$ B_{\text{ges}} $	B_x	B_y	B_z	$ B_{\text{ges}} $
Gebäudedecke Willy-Brandt-Platz 5 (Restaurant)	1,524	3,478	1,323	4,021	3,618	7,832	3,816	9,434
Eingang Kaiserring 2	1,032	2,164	0,792	2,525	1,587	3,382	1,171	3,915
Eingang Kaiserring 10-12	1,233	2,951	1,462	3,517	1,948	4,669	1,857	5,389
Eingang Kaiserring 14-16	1,435	3,414	1,808	4,121	2,063	4,667	1,828	5,420
Eingang Kaiserring 22	4,000	5,871	2,756	7,620	4,191	6,000	2,844	7,852
Standort offenes MRT	1,431	2,796	0,366	3,162	1,633	3,102	0,445	3,534

In der Tabelle 2 sind die prognostizierten Veränderungen an ausgewählten Standorten zusammengefasst. Blau hervorgehoben sind die prognostizierten Veränderungen der Flussdichten in Richtung des B_0 -Feldes des MRT. Nach derzeitigem Erkenntnisstand sind, mit Ausnahme des offenen MRT, keine gegenüber magnetischen Gleichfeldänderungen empfindlichen Geräte in den betroffenen Gebäuden installiert, so dass allgemein keine negativen Auswirkungen der Trassenverlegung zu erwarten sind.

Der direkte Abstand der äußeren Gleise zum MRT verringert sich künftig um 1 m (vgl. S. 7, Kap. 3.3, Abs. 1). Da der Abstand des MRT zu den Gleisen im Vergleich zu den anderen Standorten größer ist, treten geringere Felderhöhungen auf. Die besonders zu berücksichtigende z-Komponente in Richtung des B_0 -Feldes ändert sich nur um ca. $0,08 \mu\text{T}$. Aufgrund der Vorbelastung (keine ultraschnellen Sequenzen möglich) sind keine Einschränkungen beim Betrieb des Gerätes zu erwarten. Sollten entgegen der Prognose Beeinträchtigungen auftreten, können diese durch nachträgliche aktive Schirmungsmaßnahmen verringert werden.

Auf der gegenüberliegenden Seite (L15) werden aufgrund gleichbleibender Abstände keine Veränderungen des Immissionsniveaus erwartet, so dass dieser Bereich nicht weiter betrachtet wird.

Da im Bahnhof keine gegenüber magnetischen Gleichfeldänderungen empfindlichen Geräte installiert sind, ist aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit durch den Umbau nicht mit Problemen zu rechnen.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sich das Immissionsniveau der magnetischen Gleichfeldänderungen an Standorten im Bereich des Hauptbahnhofs Mannheim nicht unzulässig erhöht. Insofern wird der Umbau zu keinen neuartigen elektromagnetischen Beeinflussungen von Geräten durch die Straßenbahn führen.

5 Schlussfolgerungen

Das Immissionsniveau der magnetischen Gleichfeldänderungen durch die Straßenbahn wird sich an den Standorten im Bereich des Hauptbahnhahnhofs Mannheim aufgrund der Umbaumaßnahmen an der Straßenbahnhaltestelle Hauptbahnhof nicht unzulässig erhöhen.

Entsprechend Abschnitt 2.3 und 4 sind keine Beeinflussungen von standardmäßigen Geräten zu erwarten. Geräte, die gegenüber niederfrequenten Magnetfeldschwankungen empfindlich sind, könnten bereits im jetzigen Zustand durch die Bahntrasse und die vorhandene Straßenbahn beeinträchtigt werden. Insofern ist durch den Umbau der Straßenbahn im Bereich Hauptbahnhof Mannheim nicht mit einer Veränderung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Geräten zu rechnen.

6 Abkürzungen und Symbole

A	Ampere - Einheit der Stromstärke
Hz	Hertz - Einheit der Frequenz
m	Meter - Einheit der Entfernung
V	Volt - Einheit der Spannung
S/km	Siemens je Kilometer - Einheit des Leitwertbelags
T	Tesla - Einheit der magnetischen Flussdichte
Pk-Pk	Spitze-Spitze Werte
B ₀ -Feld	statisches magnetisches Feld des MRT
x, y, z	Ortskoordinaten
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomographie

7 Quellenangaben

- [1] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG) vom 14. Dezember 2016 geändert durch Artikel 3 Absatz 1 des Gesetzes vom 27. Juni 2017
- [2] EN 61000-6-1: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 6-1: Fachgrundnorm - Störfestigkeit für Wohnbereich, Geschäfts- Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe
- [3] EN 61000-6-3: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) -Teil 6-3: Fachgrundnormen - Störaussendung für Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereiche sowie Kleinbetriebe
- [4] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996, neugefasst durch Bek. v. 14.8.2013
- [5] DIN EN 50121-3-1: Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) -Teil 3-1: Bahnfahrzeuge - Zug und gesamtes Fahrzeug
- [6] DIN EN 50121-2 Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) -Teil 2: Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
- [7] Gonschorek, K.-H.: EMV für Geräteentwickler und Systemintegratoren. Springer Verlag 2005