

Dokumentation AP E-162

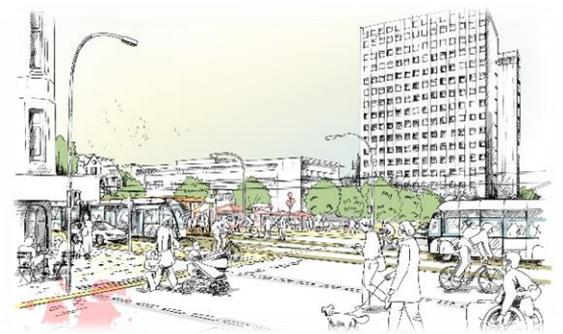
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Dokumentation Arbeitspaket E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen



Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Bearbeiter: Nils Jänig, Lewin Saile

Qualitätssicherung Ramboll: Steffen Plogstert, Ann-Kathrin Kuppe

Datum: 10.10.2022

Ramboll Deutschland GmbH

Zur Gießerei 19-27

76227 Karlsruhe

<https://de.ramboll.com>

info@ramboll.com

Gliederung

Projekteinordnung	7
1 Einführung	13
1.1 EMV Grundlagen	13
1.2 Überblick Risiken.....	14
1.3 Überblick Gesetze, Standards und Normen	14
1.3.1 EMVG	14
1.3.2 Europäische Normen	15
1.3.3 Weitere Gesetze in Deutschland	16
1.3.4 Richtlinien der EU	16
1.3.5 Vorschriften durch Berufsgenossenschaften und Verbände	16
2 Bestandsaufnahme HÖV-Kiel	18
2.1 Begründung der Stakeholderauswahl.....	18
2.2 Auswahl.....	18
2.3 Clusterbildung	21
3 Vereinfachter Vergleich	28
3.1 Eingangsgrößen EM-Felderzeugung	28
3.2 Betriebliche Grundlagen EM-Felderzeugung	30
3.3 EM-Felder Tram und BRT.....	36
3.3.1 Tram	36
3.3.2 BRT.....	37
3.4 Vergleich der Feldstärken mit den Immunitätswerten von Geräten in den betroffenen Einrichtungen.....	38
3.4.1 Beeinflussung von Geräten.....	38
3.4.2 Geräte im Abgleich	39
3.4.3 Ergebnis	39
4 Mögliche Gegenmaßnahmen	49
4.1 Mögliche Maßnahmen seitens der Betroffenen	49
4.2 Mögliche Maßnahmen seitens des Projekts	50
4.3 Mögliche Kombination verschiedener Maßnahmen.....	52
5 Schlussfolgerung und weitere Schritte	54
5.1 Tram.....	54
5.1.1 Cluster CAU Nord und Süd: Bereich der nördlichen und südlichen Olshausenstraße	54
5.1.2 Cluster Gaarden Ostufer: Bereich um die technische Fakultät der CAU	
55	

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

5.1.3	Cluster Schwentine: Bereich um die Schmerzlinik (k.A.)	55
5.1.4	Cluster Städt. Krankenhaus: Bereich um das Städtische Krankenhaus (k.A.)	55
5.1.5	Berücksichtigung in der Kostenschätzung	55
5.2	BRT	56
5.2.1	Cluster CAU Nord und Süd: Bereich der nördlichen und südlichen Olshausenstraße	56
5.2.2	Cluster Gaarden Ostufer: Bereich um die technische Fakultät der CAU	56
5.2.3	Cluster Schwentine: Bereich um die Schmerzlinik (k.A.)	57
5.2.4	Cluster Städtisches Klinikum: Gelände des Städtischen Klinikums (k.A.)	57
5.2.5	Berücksichtigung in der Kostenschätzung	57
5.3	Schlussfolgerung Oberleitung	58
	Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zeitliche Einordnung Trassenstudie	7
Abbildung 2 Projektziele	9
Abbildung 3 Forschungseinrichtungen und Kliniken innerhalb 300 m Entfernung zur Trasse	19
Abbildung 4 Graphische Darstellung der fünf Cluster	22
Abbildung 5 Graphische Darstellung des Clusters CAU Nord.....	23
Abbildung 6 Graphische Darstellung des Clusters CAU Süd.....	24
Abbildung 7 Graphische Darstellung des Clusters Gaarden	25
Abbildung 8 Graphische Darstellung des Clusters Schwentine	26
Abbildung 9 Graphische Darstellung des Clusters Städtisches Krankenhaus.....	27
Abbildung 10 Beispielhafter Aufbau Elektromagnetischer Felder zwischen Tram-Fahrzeug und Unterwerk (Fahrdrachhöhe 5,50 m), Quelle: Microsim, Dick van Bekkum	28
Abbildung 11 Mitfall 3+4	31
Abbildung 12 BRT-Streckenabschnitte mit Oberleitung (50 km Netz Stufe 1B, noch ohne Berücksichtigung EMV).....	32
Abbildung 13 Geplante Unterwerksstandorte Tram (Stand 19.01.2022).....	33
Abbildung 14 Kombination verschiedener Maßnahmen.....	53
Abbildung 15 Plan der Oberleitungstypen Tram unter Berücksichtigung EMF in Bereichen mit sensiblen Geräten	58
Abbildung 16 Plan der Oberleitung BRT unter Berücksichtigung EMV in Bereichen mit sensiblen Geräten.....	59

Anmerkung zu den Abbildungen: Sofern keine Quelle genannt ist, sind die Abbildungen im Rahmen der Trassenstudie erstellt worden. Photos ohne Quellenangabe stammen von Ramboll. Für alle anderen Abbildungen oder Photos sind externe Quellen genannt worden.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Relevante EMV-Normen zum Betrieb einer Straßenbahn	15
Tabelle 2 Einrichtungen mit EMV Konfliktpotential (GIS LH Kiel, Stand 27.8.21)	20
Tabelle 3 Abschätzung des Energiebedarfs der drei Fahrzeugtypen.....	29
Tabelle 4 Schätzung des Spitzenstroms der Fahrzeugtypen Tram und BRT	30
Tabelle 5 Betriebliche Grundlage der EM-Felderzeugung (Tram)	35
Tabelle 6 Betriebliche Grundlage der EM-Felderzeugung (BRT).....	36
Tabelle 7 EM-Feldstärke in den Problemclustern (Tram)	37
Tabelle 8 EM-Feldstärke in den Problemclustern (BRT).....	37
Tabelle 9 Liste aller Geräte die im Konflikt mit dem EMF des BRT Betriebes stehen.....	43
Tabelle 10 Liste aller Geräte die im Konflikt mit dem EMF des Tram Betriebes stehen.....	47
Tabelle 11 Liste aller Geräte die auf Feldveränderungen reagieren.....	48

Anlagen

E-162.1 Bremerskamp Rahmenplan

E-162.2 Lageplan CAU HÖV-Trasse

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Projekteinordnung

Der hier vorliegende Bericht ist im Rahmen der Trassenstudie zur Einführung eines zukunftssicheren ÖPNV-Systems auf eigener Trasse im Auftrag der Landeshauptstadt Kiel entstanden und beschäftigt sich mit den Ergebnissen des Arbeitspakets A-162 EMV-Kompatibilität sensibler Installationen. Dieses einleitende Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den Projekthintergrund, dessen Entstehung und Ziele und dient zur Einordnung des ab Kapitel 1 beginnenden inhaltlichen Teils des Berichts.

Die Landeshauptstadt Kiel kann die Klimaschutzziele mit dem Zielhorizont 2035 ohne eine Optimierung des bestehenden ÖPNV-Angebotes (derzeitig Bus-, Fähr- und Regionalbahnbetrieb) nicht erreichen und die Kapazitätsengpässe im Busverkehr nicht beheben. Da die Planungen für eine StadtRegionalBahn in Folge durch den fehlenden politischen Rückhalt in der Region beendet werden mussten, wurde die Fortschreibung des Kieler Verkehrsentwicklungsplans notwendig.

Dafür wurde die Grundlagenstudie „Mobilitätskonzept für einen nachhaltigen Öffentlichen Nah- und Regionalverkehr in Kiel“ beauftragt. In dieser Grundlagenstudie, die im Jahr 2019 abgeschlossen wurde, ist untersucht worden, ob ein hochwertiges ÖPNV-System im Kieler Stadtgebiet über ausreichend Nachfragepotenzial verfügt und ob der Mobilitätsverbund über begleitende Maßnahmen gestärkt werden kann. Die Ergebnisse beinhalten umfangreiche planerische Grundlagen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen. Die folgende Abbildung gibt einen zeitlichen Überblick über die angesprochenen zeitlichen Abläufe der Grundlagenstudie und den darauffolgenden Beschlüssen, die zur **Trassenstudie mit vertiefter Infrastruktur- und Gesamtsystemplanung** geführt haben und den dann folgenden Phasen:

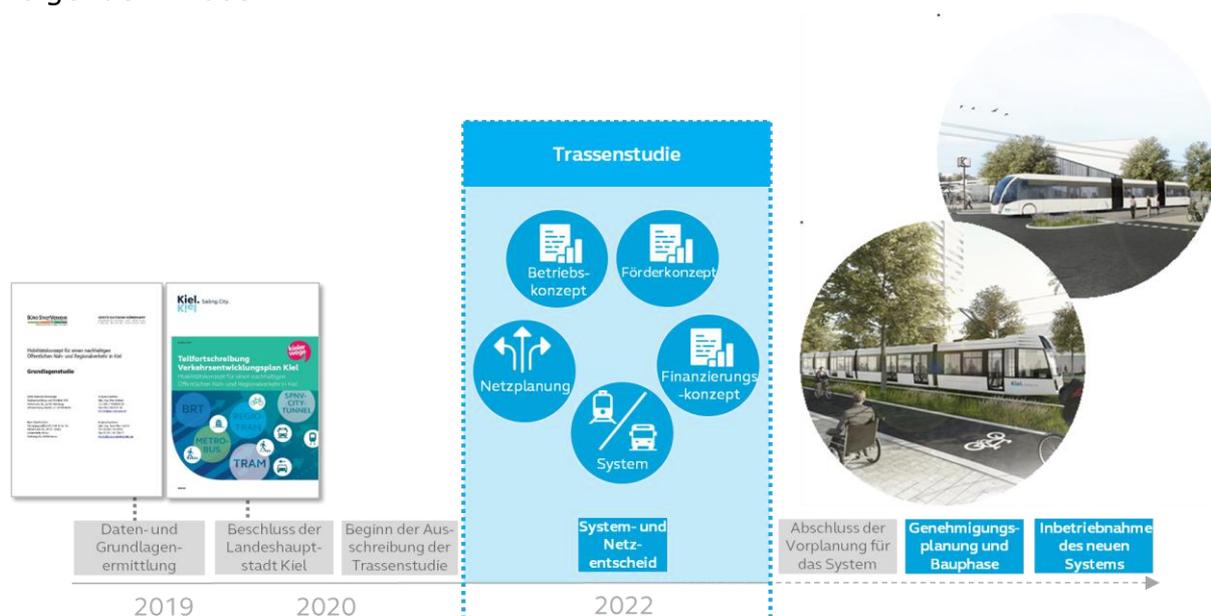


Abbildung 1 Zeitliche Einordnung Trassenstudie

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Als wesentliches Ergebnis der Grundlagenstudie zeigte sich, dass zwei Verkehrsmittel am ehesten in der Lage sind, das bestehende ÖPNV-Angebot in der Landeshauptstadt Kiel zu verbessern: Tram oder Bus Rapid Transit (BRT).

Die Ergebnisse des Mobilitätskonzepts in der Grundlagenstudie stellten nur gutachterliche Empfehlungen dar, und die Herleitung des exakten Trassenverlaufs der betrachteten Linien wurde nicht im Detail untersucht. Aufgabe der Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse war es daher, die Ergebnisse der Grundlagenstudie sowohl kritisch zu hinterfragen als auch zu vertiefen sowie die Machbarkeit nachzuweisen und erste Teile einer darauffolgenden Vorplanung zu erreichen, damit diese Planungsphase anschließend innerhalb von zwei Jahren abgeschlossen werden kann. Im Rahmen der Trassenstudie wurden die beiden möglichen Systeme Tram und BRT gleichberechtigt in mehreren Stufen vertiefend untersucht.

Die Trassenstudie stellt eine umfassende Untersuchung der Systeme Tram und BRT für den konkreten Einsatzort Kiel dar, bei der in etwa 30 Arbeitspaketen Unterlagen über u.a. Kerncharakteristika, Systemeigenschaften, konkrete Infrastrukturplanungen und deren Auswirkungen auf andere Belange wie zum Beispiel andere Verkehrsträger, Umweltfolgen, Stadtbild oder elektromagnetische Verträglichkeit erarbeitet wurden, die als Grundlage für den weiteren Planungsprozess dienen.

Das mögliche Netz wurde in der Grundlagenstudie mit einer Länge von 34,5 km abgeschätzt. Die dort eruierten Strecken und Linien waren nur indikativ. Das Netz wurde daher in der vorliegenden Trassenstudie innerhalb der Korridore, die über ausreichend Nachfragepotenzial für ein neues ÖPNV-System verfügen, komplett neu untersucht und hergeleitet sowie im Rahmen einer umfangreichen Öffentlichkeitsbeteiligung festgelegt.

Folgende Korridore, welche in der Grundlagenstudie ermittelt worden waren, verfügen über die erforderlichen Nachfragepotenziale und eignen sich für höherwertige ÖPNV-Systeme.

- Dietrichsdorf – Gaarden-Ost – Hbf. – Wik
- Neumühlen-Dietrichsdorf/ FH Kiel – Gaarden-Ost – Hbf. – Uni – Suchsdorf
- Elmschenhagen – Gaarden-Ost. – Hbf. bis nach Mettenhof

Für die Abschichtung, also Herleitung aller denkbaren Streckenabschnitte innerhalb dieser Korridore bis zum Kernnetz, hat sich das Büro Ramboll am „Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahren“ (FAR) orientiert. Dieses gilt bei einer ausgewogenen Auswahl der Bewertungskriterien als rechtssicher.

Alle sich aufdrängenden Varianten, sowie weitere sich aus der Planung und der Ämter- sowie Öffentlichkeitsbeteiligung ergebenden Varianten wurden erfasst und in Streckenabschnitte unterteilt. Im Falle einer Klage gegen einen erlassenen Planfeststellungsbeschluss wird das Risiko der Klage minimiert, da die Herleitung und Bewertung ausschließlich nach objektiven Kriterien erfolgt.

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Für die so vorgenommene Streckennetzkonzeption wurden im weiteren Verlauf vertiefende Infrastrukturplanungen für die einzelnen Straßenzüge des Streckennetzes entworfen und abgestimmt. Auf deren Basis konnten weitere Arbeitspakete Ergebnisse erarbeiten und ableiten. Letztlich wurde eine für den Systementscheid und das Kernnetz erarbeitet.

Die detaillierte Variantenuntersuchung von Streckenverläufen (ab AP E-100) wurde bis Mitte 2022 für beide Systeme durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Trassenstudie ist geplant, eine Entscheidung für ein System und Netz durch die politischen Gremien der Landeshauptstadt Kiel zu treffen. Daraufaufgehend ist der Abschluss der Vorplanung nur noch für ein System geplant.

Das Netz ist für die Systeme BRT und Tram im Wesentlichen identisch, da die hohe Nachfrage unabhängig vom System in den gleichen Korridoren ermittelt wurde und somit beide Systeme sich hier nicht unterscheiden. Das BRT-System weist dabei durch kleine Fahrzeuge einen dichteren Takt auf. Auch haben die im festgesetzten technischen Planungsparameter gezeigt, dass ein gleiches Netz für beide Systeme technisch machbar ist. Das Netz unterscheidet sich nur dort geringfügig, wo es technisch notwendig ist, z.B. an den Endpunkten (Kopfstellen Tram vs. Wendeschleife BRT). Die Streckenlänge des Kernnetzes, für das drei Inbetriebnahmestufen vorgeschlagen werden, beträgt 35,8 km.

Die folgende Abbildung zeigt die Hauptziele der Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse:



Abbildung 2 Projektziele

Zusätzlich zu diesen Hauptzielen wurden noch folgende erweiterte Ziele definiert, die von weiteren Arbeitspaketen abgedeckt wurden:

- Verknüpfung mit anderen städtebaulichen und verkehrlichen Planungsprozessen

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

- Konkretisierung des Gesamtrealisierungszeitraums und der Kostenschätzungen
- Aufbau eines transparenten Planungsprozesses
- Einbindung und Mitnahme von relevanten Stakeholdern
- Erreichen einer Grundlage, um zügig weitere Planungsphasen einleiten zu können
- Darstellung der Chancen städtebaulicher Aufwertungspotenziale
- Aussagen zur perspektivischen Erweiterbarkeit des Systems

Im Ergebnis der Trassenstudie erstellte Ramboll einen übergeordneten Endbericht mit ergänzenden Berichten als Anlage sowie eine erweiterte Dokumentation der Arbeitsergebnisse der Arbeitspakete. Die zentralen Berichte als Anlage zum Endbericht sind:

Anlage 1 – Bericht Herleitung Streckennetz (AP C-100, E-100 und E-200)

Anlage 2 – Bericht Systemvergleich Tram/BRT (AP D-100)

Anlage 3 – Bericht Busnetz mit dem neuen HÖV-System (AP E-123)

Anlage 4 – Bericht Zusammenfassung der erweiterten Dokumentation

Neben dem Endbericht und den zentralen Berichten als Anlage wurden die übrigen Ergebnisse der Arbeitspakete in einer erweiterten Dokumentation festgehalten. Die untenstehende Tabelle bietet einen Überblick über alle vorhandenen Dokumentationen. Eine Kurzzusammenfassung aller Dokumentationen bietet Anlage 4 des Endberichts.

Nr.	Arbeitspaket	Inhalt Dokumentation
A-120	Projektdefinition	Zusammenfassungen des Projektes (Inception Report)
A-130	Monitoring und Evaluation des Projektablaufs	Beschreibung des Projektablaufs
B-100	Planungsparameter	Technische Planungsparameter getrennt für beide Systeme Tram und BRT als Grundlage für die Planung der Trassenstudie
C-110	Abfrage Leitungsbestand	Zusammenfassung vom vorhandenen relevanten Leitungsbestand
E-111	Betriebsmodell	Ergebnisse Betriebsmodellierung + Konzept oberleitungsfreier Betrieb
E-112	Erweiterbarkeit des Systems	Konzept zur Erweiterungsfähigkeit
E-121	Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern, Rad- und Fußverkehr	Planungsparameter Fuß- und Radverkehr

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Nr.	Arbeitspaket	Inhalt Dokumentation
E-122	Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern, Mobilitätsstationen und P+R	Planungsparameter Mobilitätsstationen
E-123	Zukünftiges Busnetz ohne neues HÖV-System für die Nutzen-Kosten-Untersuchung	Entwicklung Gesamt-ÖPNV-Netz Bus und Tram/BRT (Ohnefall der Standardisierten Bewertung)
E-130.1	Funktionskonzepte	Erläuterung und Ergebnisse Grundkonzeption der Trassenlage
E-130.2	Bestandsbauwerke	Erläuterung und Ergebnisse Analyse der Bestandsbauwerke
E-130.3	Leitungsbestand/Verrohrte Gewässer	Erläuterung und Ergebnisse Konzept Leitungsverlegung
E-130.4	Neue Bauwerke	Erläuterung und Ergebnisse Konzept neue Bauwerke
E-130.5	Infrastrukturplanung Kernnetz und Varianten	Erläuterung und Planunterlagen Kernnetz mit Varianten (50 km) im Maßstab 1:2.500 inklusive notwendige Querschnitte 1:100
E-130.6	Bewertung Infrastrukturplanung	Erläuterung und Zusammenfassung des Abstimmungsprozesses zur Infrastrukturplanung
E-140	Städtebauliche Integration	Städtebauliches Konzept mit Skizzen und Bewertungen
E-150	Umweltbelange	Analyse und Bewertung der Umweltbelange
E-161	Energieversorgung	Konzept zu elektrischen Anlagen inkl. Kostenschätzung
E-162	Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen	EMV-Kompatibilität sensibler Installationen in Forschungseinrichtungen entlang der Trasse
E-170	Signalisierung	Konzept Signalisierung inkl. Kostenschätzung
E-180	Betriebshof	Standortauswahl und Layoutplanung Betriebshof inkl. Kostenschätzung
E-190	Kostenschätzung	Kostenschätzung aller Gewerke als Eingangsgröße für die Nutzen-Kosten-Rechnung

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Nr.	Arbeitspaket	Inhalt Dokumentation
F-110	Nutzen-Kosten-Untersuchung	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nach dem Verfahren der Standardisierten Bewertung
F-120	Finanzierungs- und Förderkonzept	Finanzierungs- und Förderkonzept aus Basis der Kostenschätzung
F-130	Realisierungszeitplan	Realisierungszeitplan für das Kernnetz inkl. Realisierungsstufen
F-140	Zulassungsaspekte	Zulassungsaspekte für die Genehmigung der Systeme
G-100	Öffentlichkeitsbeteiligung	Zusammenfassung der gesamten Öffentlichkeitsarbeit der Trassenstudie

Diese Dokumentation befasst sich mit den grundsätzlichen Besonderheiten des Betriebes einer ÖPNV Trasse in der Nähe zu hochtechnologischen Einrichtungen.

1 Einführung

Die Planung und der Bau einer neuen ÖPNV Trasse involviert üblicherweise die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens. In der Vergangenheit wurde dabei festgestellt, dass die Störaussendung von magnetischen Gleichfeldern durch den Betrieb von Straßenbahnen eines der häufigsten Probleme ist, welches während der UVP auftritt.

Erfahrungen aus der Planung und Umsetzung von neuen Straßenbahnlinien in anderen Städten (zum Beispiel Heidelberg, Delft, Utrecht, Lund, Antwerpen und Ulm) zeigen, dass besonders hochtechnologische Einrichtungen wie Universitäten, Krankenhäuser und Industrie- bzw. Militärstandorte, durch den Betrieb einer Straßenbahn in ihrer Nähe beeinträchtigt werden können. Diese Einrichtungen betreiben häufig Geräte, die auf Grund ihrer technologischen Funktionsweise besonders sensibel gegenüber elektromagnetischen Feldern (EMF) in der Umgebung sind.

Dieser Bericht soll auf die grundsätzlichen Besonderheiten des Betriebes einer ÖPNV Trasse in der Nähe zu hochtechnologischen Einrichtungen hinweisen und nimmt keine UVP vorweg.

1.1 EMV Grundlagen

In Kiel wird ein HÖV-Netz mit Oberleitung geplant (siehe auch Dokumentation zu AP E-161 Elektrische Anlagen). Diese Oberleitung dient der Stromzufuhr und leitet den Fahrstrom der Tram oder des BRT (750 V Gleichstrom). Die Oberleitung ist in der folgenden schematischen Funktionsbeschreibung als ein elektrischer Leiter zu betrachten.

Fließt ein elektrischer Strom durch einen Leiter, so entsteht ein elektromagnetisches Feld (EMF) um diesen Leiter herum. Die Felder können dabei, abhängig von der Energie, hochfrequent, niederfrequent sowie statisch sein.

In hochfrequenten Feldern sind die elektrischen und magnetischen Felder nicht voneinander trennbar, wohingegen in niederfrequenten und statischen Feldern diese voneinander entkoppelt werden können.

Im Anwendungsbereich der spezifischen Energieversorgung treten sowohl statische als auch niederfrequente Felder auf. Diese haben dabei eine Frequenz von entweder 50 (Industriefrequenz), 300 oder 600 Hz, wobei letztere durch die Restwelligkeit des Gleichstroms induziert werden. Im Anwendungsbereich der Straßenbahn und des BRT treten bauartbedingt keine hochfrequenten Felder auf.

Die elektromagnetischen Felder werden primär durch die folgenden Installationen entlang der Trasse verursacht:

- Oberleitungen
- Fahrschienen
- Gleichrichterunterwerke

Das jeweilig induzierte Feld nimmt mit zunehmendem Abstand zur Quelle (bspw. Oberleitung) überproportional ab. Um das Risiko einer Funktionsbeeinträchtigung

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

in umliegenden Einrichtungen zu bewerten, bedarf es daher die genaue Position der in Frage kommenden Geräte. Diese Thematik wird in Abschnitt 3 behandelt.

1.2 Überblick Risiken

Die Trassenführung des geplanten HÖV-Systems birgt das Risiko, dass diese nicht kompatibel mit ihrer zukünftigen Umgebung ist. Andere Projekte, die die Planung einer ähnlichen innerstädtischen Trassenführung beinhalteten, haben gezeigt, dass die EMF-Thematik bereits in den frühen Planungsphasen genauer betrachtet werden sollte, um später Verzögerungen in der Bauphase und Inbetriebnahme zu verhindern. Dazu dienlich sind frühzeitige Studien, die Berechnungen, Simulationen und Messungen beinhalten. Diese Studien führen generell dazu, dass die Inbetriebnahme der ÖPNV Trasse ein geringeres Restrisiko bezüglich deren elektromagnetischen Unverträglichkeit für dessen Umwelt birgt.

Sollte die Trasse nicht verträglich mit ihrer Umgebung sein, so könnte das unter anderem die folgenden Konsequenzen für das Projekt bedeuten:

- Umplanung von Teilabschnitten, um die kritische Distanz zu der betroffenen Gerätschaft zu gewährleisten
- Umgestaltung der Stromzufuhr auf dem betroffenen Teilabschnitt
- Verlegung der empfindlichen Geräte auf (Teil-) Kosten des Projekts
- Installation von Abschirmtechniken, um die betroffenen Geräte von dem EMF zu isolieren auf (Teil-) Kosten des Projekts

1.3 Überblick Gesetze, Standards und Normen

Grundsätzlich unterliegt in Deutschland der Betrieb von jedem elektrischen Gerät einer oder mehreren Normen und oder Richtlinien, denen es genügen muss. Diese stellen sicher, dass der Betrieb des Gerätes mit seiner Umgebung verträglich ist und keine Gefahr für Menschen oder andere Geräte darstellt.

Dieses Kapitel beinhaltet eine Übersicht über die wesentlichen Normen, Richtlinien, Schriften und Vorgaben, die den Betrieb einer ÖPNV Trasse betreffen.

Die folgende Auflistung ist gegebenenfalls nicht vollständig und dient nur der groben schematischen Einordnung der verschiedenen rechtlichen EMV-Anforderungen an den Betrieb einer ÖPNV Trasse.

1.3.1 EMVG

Das *Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz* (EMVG) ist das deutsche Bundesgesetz zur Regelung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Betriebsmitteln und umfasst die gesetzlichen Pflichten und Vorschriften, die deren Betrieb beinhalten. Von besonderem Interesse sind hierbei die folgenden Paragraphen:

- § 4 Grundlegende Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit
- § 5 Besondere Anforderungen an die Installation ortsfester Anlagen

Zur Erfüllung des § 4 müssen Betriebsmittel nach dem Stand der Technik entworfen und hergestellt werden. Deren elektromagnetischen Störungen dürfen dabei nicht den Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten sowie anderer

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Betriebsmittel verhindern. Ebenso muss ein Betriebsmittel unempfindlich gegenüber Störungen sein, die bei dessen bestimmungsgemäßen Betrieb zu erwarten sind.

§ 5 regelt zusätzlich, dass ein solches Betriebsmittel nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik installiert werden muss.

1.3.2 Europäische Normen

Bei den *Europäischen Normen* (EN) handelt es sich um Regeln, die durch die europäischen Komitees für Standardisierung in einem öffentlichen Normungsprozess erarbeitet werden. Eine EN wird circa alle 5-10 Jahre durch eine aktualisierte Version ersetzt. Bei dem Bau einer Straßenbahn sind unter anderem die folgenden EN zu beachten:

Norm	Bezeichnung
EN-50121	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit
EN-50122	Bahnanwendungen - Ortsfeste Anlagen - Elektrische Sicherheit, Erdung und Rückleitung
EN-50155	Bahnanwendungen - Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen
EN-50162	Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen
EN-50500	Messverfahren für magnetische Felder, die durch elektronische und elektrische Geräte in der Bahnumgebung erzeugt werden, hinsichtlich der Exposition von Personen
EN-55011	Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte - Funkstörungen - Grenzwerte und Messverfahren
EN-55015	Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten
EN-55022	Einrichtungen der Informationstechnik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren
EN-61000	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
EN-61547	Einrichtungen für allgemeine Beleuchtungszwecke - EMV - Störfestigkeitsanforderungen
EN-62041	Transformatoren, Drosseln, Netzgeräte und entsprechende Kombinationen - EMV Anforderungen

Tabelle 1 Relevante EMV-Normen zum Betrieb einer Straßenbahn

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

1.3.3 Weitere Gesetze in Deutschland

Zusätzlich zu dem EMVG gelten in Deutschland die folgenden gesetzlichen Vorgaben was den Betrieb einer Tram oder eines BRT angeht:

- **26. BImSchV:** Die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesemissionsgesetzes regelt die Errichtung und den Betrieb von Hochfrequenzanlagen, Niederfrequenzanlagen sowie Gleichstromanlagen.
- **BOStrab § 3:** Der Paragraph 3 der Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung definiert allgemeine Anforderungen an den Bau der Betriebsanlagen und Fahrzeuge

1.3.4 Richtlinien der EU

Des Weiteren sind unter anderem die folgenden Richtlinien der EU relevant für den Betrieb einer Tram oder eines BRT:

- **Richtlinie 2004/108/EG:** Diese Richtlinie dient zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit
- **Richtlinie 2004/40/EG:** Diese Richtlinie beinhaltet Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder).

1.3.5 Vorschriften durch Berufsgenossenschaften und Verbände

Der *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen* (VDV) hat unter anderem folgenden Schriften veröffentlicht, die Grundanforderungen an die Straßenbahnbetriebe stellen:

- **VDV-Schrift 160:** Grundanforderungen - Elektrische Ausrüstung von Stadt- und U-Bahnfahrzeugen
- **VDV-Schrift 169:** Grundanforderungen - Einbau elektrische Ausrüstung städtischer Schienenbahnen
- **VDV Schriften 500 ff zu Elektrischen Anlagen BOStrab**

Die *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung* (DGUV) hat unter anderem folgende Schriften veröffentlicht, die Grundanforderungen an die Straßenbahn- oder BRT-Betriebe stellen:

- **DGUV Vorschrift 3: Elektrische Anlagen und Betriebsmittel** (ehem. BGV A3): Die Vorschrift regelt die Prüfung elektrischer Betriebsmittel und definiert die Prüferlaubnis, Prüfarbeiten- und -fristen sowie Prüfkriterien und Anforderungen an die Prüfmittel.
- **DGUV Vorschrift 15: Elektromagnetische Felder (ehem. BGV B11):** Diese Vorschrift findet Anwendung, wenn Versicherte EM-Feldern im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz unmittelbar ausgesetzt sind. Diese Vorschrift gilt nicht sofern 26. BImSchV zur Anwendung kommt. Im Wesentlichen befasst sich die Vorschrift mit Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit bei der Arbeit.

Dokumentation AP E-162**Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen****Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse**

-
- **DGUV Vorschrift 73: Schienenbahnen (ehem. BGV D30):** Inhaltlich werden in dieser Vorschrift die Verkehrswege für Schienenfahrzeuge, seitlicher Sicherheitsabstand in Arbeitsstätten, Laderampen, Beleuchtungseinrichtungen, Seil- und Kettenzuganlagen thematisiert.

Der *Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik* (VDE) hat u.a. die folgende elektrotechnische Normung erarbeitet:

- **VDE 0228:** Maßnahmen bei Beeinflussung von Fernmeldeanlagen durch Starkstromanlagen

2 Bestandsaufnahme HÖV-Kiel

Entlang der geplanten Trasse befinden sich eine Vielzahl an Einrichtungen mit hochtechnologischen Anlagen, die durch den Betrieb einer Straßenbahntrasse in ihrer Funktion beeinträchtigt werden könnten. Im Folgenden gilt es daher festzustellen, welche Einrichtungen auf Grund bestimmter Merkmale bei der Trassenplanung zusätzlicher Aufmerksamkeit bedürfen.

2.1 Begründung der Stakeholderauswahl

Die geplante Trasse wird nicht vor 2030 oder später in Betrieb genommen. Daher gilt es zu klären, welche zurzeit im gefährdeten Bereich ansässigen Einrichtungen eine hohe Zukunftsfähigkeit an ihrem Standort haben. Es ist insbesondere davon auszugehen, dass kleinere Arztpraxen nicht ortsgebunden sind und möglicherweise zum Zeitpunkt der Trassenfertigstellung nicht mehr ansässig sind. Daher liegt der Fokus der Untersuchung auf all denen Einrichtungen, die eine sehr hohe Zukunftsfähigkeit an ihrem Standort aufweisen können. Zu diesen gehören die folgenden Kategorien:

- Kliniken und andere große medizinische Einrichtungen
- Universitätseinrichtungen und andere Forschungseinrichtungen
- Industriestandorte
- Militärstandorte

2.2 Auswahl

Das *Geographische Informationssystem* (GIS) der Stadt Kiel diene als Grundlage zur Bestimmung aller Einrichtungen, die über hochtechnologische Geräte verfügen könnten. Die Auswahl der relevanten Einrichtungen erfolgte in den folgenden Schritten:

1. Filtern des GIS Verzeichnisses nach den in 2.1 genannten Kategorien
2. Diskussionen mit OB.M und dem Projektteam über fehlende Institutionen
3. Errichten einer beidseitigen, je 300 m breiten virtuellen Einflusszone um die geplante Trasse
4. Auflistung aller Einrichtungen, die in dieser Einflusszone liegen oder unmittelbar an diese angrenzen
5. Recherche zu den gelisteten Einrichtungen und Einschätzung des jeweiligen Konfliktpotentials. Konfliktpotential ist vorhanden, sofern von sensiblen Geräten in einer Einrichtung auszugehen ist.

Anhand des beschriebenen Prozesses wurde eine Liste mit allen relevanten Einrichtungen definiert, die im nächsten Schritt bezüglich ihrer ortsansässigen Geräte kontaktiert wurden. Es ist Ziel dieser Maßnahme, die Einrichtungen bereits frühzeitig auf die Risiken der geplanten HÖV-Trasse hinzuweisen, um frühzeitig mögliche Konflikte lösen zu können.

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Die folgende Tabelle beinhaltet einen Auszug aus dem GIS der Stadt Kiel mit entsprechend qualifizierten Einrichtungen, welche um die Einschätzungen des Projektteams, OB.M und Ramboll ergänzt wurden.

Die folgende Karte zeigt die potentiell gefährdeten Installationen in der maximalen Entfernung von 300 m um die Trasse.

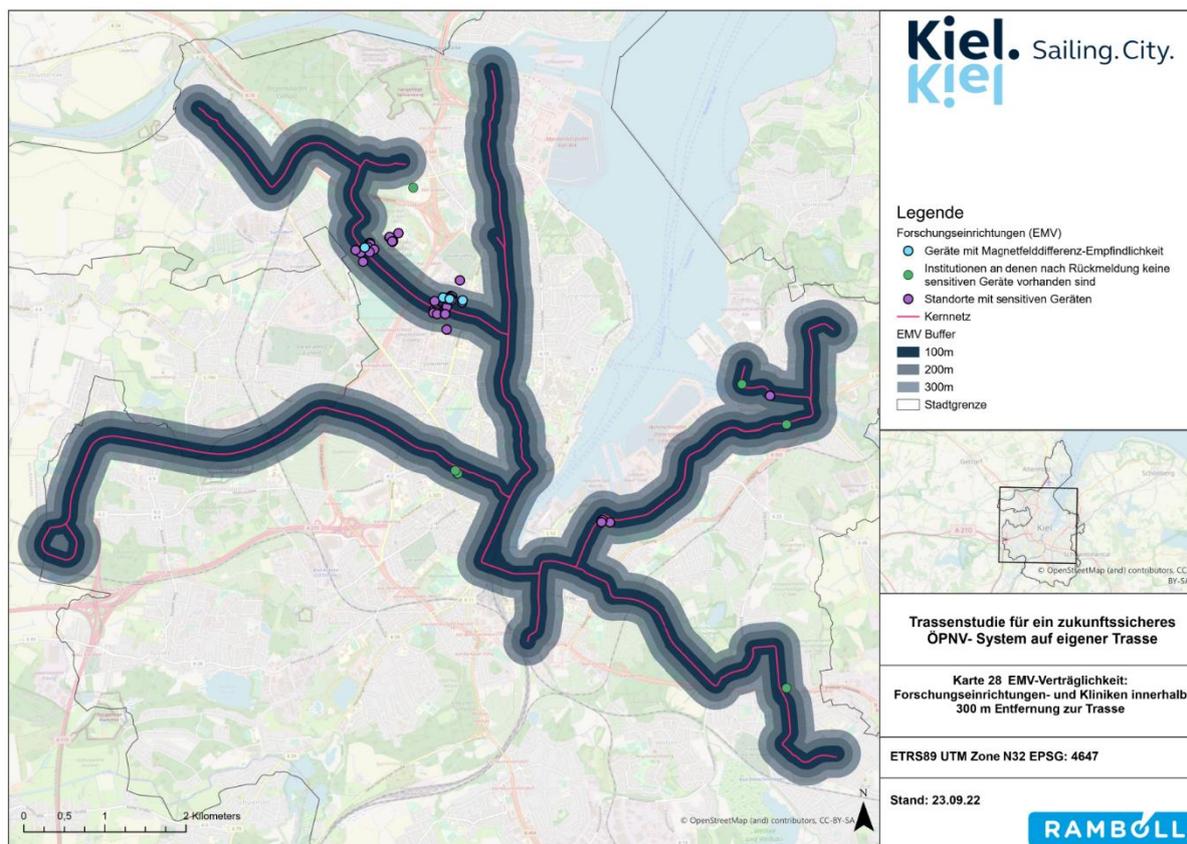


Abbildung 3 Forschungseinrichtungen und Kliniken innerhalb 300 m Entfernung zur Trasse

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftsicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Einrichtung	Text	Link	Kategorie
THYSSEN KRUPP MARINE SYSTEMS	ergänzt		Industrie
KLINIK LUBINUS LUBINUS-KLINIK LUBINUSKLINIK KRANK	Lubinus Clinicum	http://www.lubinus-clinicum.de/	Klinik
PARKKLINIK KRANKENHAUS	Parkklinik	http://www.park-klinik-kiel.de/	Klinik
STÄDTISCHES KRANKENHAUS KLINIK	Städtisches Krankenhaus	http://www.krankenhaus-kiel.de	Klinik
PRAXIS-KLINIK KIEL PRAXISKLINIK KRANKENHAUS OST	Praxisklinik Kiel	http://www.ostseeklinik-kiel.de	Klinik
SCHMERZKLINIK	Schmerzkl. Klinik	http://www.schmerzkl.ikiel.de/	Klinik
ST. ELISABETH KRANKENHAUS KLINIK ELISABETHKRAI	St. Elisabeth Krankenhaus	http://www.sekikiel.de/	Klinik
LANDESKLINIK ELMSCHENHAGEN FACHKLINIK KRANK	Landesklinik Elmschenhagen	http://www.ameos.eu/kiel/uni-kiel.html	Klinik
MARINE STÜTZPUNKT	ergänzt		Militär
EXZELLENZZENTRUM OZEAN DER ZUKUNFT EXCELLENZ	Exzellenzcluster Ozean der Zukunft	http://www.futureocean.org	Wissenschaftliche Einrichtung
GRADUIERTENSCHULE HUMAN DEVELOPMENT IN LANDSCAPES	Graduiertenschule 'Human Development in Landscapes'	http://www.uni-kiel.de/landscapes/	Wissenschaftliche Einrichtung
IFM GEOMAR HELMHOLTZ-INSTITUT FÜR MEERESKUND	IFM Geomar - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung	http://www.geomar.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFTS- UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE	Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
MAX-RUBNER-INSTITUT BUNDESFORSCHUNGSANSTALT	Max-Rubner-Institut (Bundesforschungsanstalt für Ernährung)	http://www.mri.bund.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
PROF-ANSCHÜTZ-HAUS STUDENTENWOHNHEIM	Professor-Anschütz-Haus (Studentenwohnheim)		Wissenschaftliche Einrichtung
TECHNISCHE FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT (CAU)	Technische Fakultät (CAU)	https://www.tf.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
FACHHOCHSCHULE FÜR GESTALTUNG MUTHESIUS-KUI	Muthesius Kunsthochschule	https://muthesius-kunsthochschule.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR CHEMIE (CAU)	Institut für organische Chemie	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR MATHEMATIK (CAU)	Institut für Mathematik	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR REINE UND ANGEWANDTE KERNPHYSIK	Institut für reine und angewandte Kernphysik	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR TIERZUCHT UND TIERHALTUNG (CAU)	Institut für Tierzucht und Tierhaltung (CAU)	http://www.tierzucht.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PFLANZENBAU (CAU)	Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR INFORMATIK (CAU)	Institut für Informatik	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
AUDITORIUM MAXIMUM (CAU) AUDIMAX	Auditorium Maximum (Audimax)	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT (CAU)	Christian-Albrechts-Universität (CAU)	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
STUDENTENHAUS (CAU)	Studentenhaus (CAU)	http://www.studentenwerk-s-h.de	Wissenschaftliche Einrichtung
MENSA I (CAU)	Mensa I (CAU)	http://www.studentenwerk-s-h.de	Wissenschaftliche Einrichtung
GEOLOGISCHES INSTITUT (CAU)	Geologisches Institut	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
PETROGRAPHISCHES INSTITUT (CAU)	Petrographisches Institut	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
FACHHOCHSCHULE KIEL FH	Fachhochschule (FH)	http://www.fh-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ÖKOLOGIE UND KÜSTENFORSCHUNG CAU	Institut für Ökologie und Küstenforschung	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK UNIBIBLIOTHEK CAU	Universitätsbibliothek (CAU)	https://www.ub.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
AGRAR- UND ERNÄHRUNGSWISSENSCHAFTLICHE FAK	Agrar- u. Ernährungswissenschaftl. Fakultät (CAU)	http://www.agrar.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR POLITISCHE WISSENSCHAFT (CAU)	Institut für Politische Wissenschaft	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PÄDAGOGIK (CAU)	Institut für Pädagogik	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR KUNSTHISTORIK (CAU)	Institut für Kunsthistorik	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR MEDIZINISCHE KLIMATOLOGIE (CAU)	Institut für Medizinische Klimatologie	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR TIERERNÄHRUNG (CAU)	Institut für Tierernährung	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PHYTOPATOLOGIE (CAU)	Institut für Phytopathologie	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE (CAU)	Institut für Physiologie	http://www.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
MENSA (FH)	Mensa (FH)	http://www.studentenwerk-s-h.de	Wissenschaftliche Einrichtung
FAKULTÄTENBLOCK CAU FAKULTÄTENBLÖCKE	Fakultätenblöcke (CAU)	https://www.uni-kiel.de/de/universitaet/einrichtungen-fakultae	Wissenschaftliche Einrichtung
FORSCHUNGSZENTRUM ENTWICKLUNGSZENTRUM FAC	Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel	http://www.fh-kiel-gmbh.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PSYCHOLOGIE	Institut für Psychologie	http://www.psychologie.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN	Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften	http://www.ipn.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
THEOLOGISCHE FAKULTÄT CAU	Theologische Fakultät (CAU)	http://www.theol.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
RECHTSWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT CAU	Rechtswissenschaftliche Fakultät (CAU)	http://www.jura.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
MEDIZINISCHE FAKULTÄT CAU	Medizinische Fakultät (CAU)	http://www.medizin.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
PHILOSOPHISCHE FAKULTÄT CAU	Philosophische Fakultät (CAU)	http://www.phil.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT	Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät (CAU)	http://www.mnf.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
WIRTSCHAFTS- & SOZIALWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT	Wirtschafts- & Sozialwissenschaftliche Fakultät (CAU)	http://www.wiso.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR HUMANERNÄHRUNG UND LEBENSMITTEL	Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde (CAU)	http://www.agrar.uni-kiel.de/de/einrichtungen/institute-1/instit	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PFLANZENERNÄHRUNG UND BODENKUN	Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde (CAU)		Wissenschaftliche Einrichtung
RECHENZENTRUM	Rechenzentrum (CAU)	https://www.rz.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
HÖRSAAL PHYSIKALISCHE CHEMIE		https://www.phc.uni-kiel.de/en/welcome-to-the-institute-of-ph	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN	Institut für Geowissenschaften	https://www.ifg.uni-kiel.de/en/startpage	Wissenschaftliche Einrichtung
GEOGRAPHIE & GEOLOGIE HÖRSAAL	Geographisches Institut (CAU)	https://www.ifg.uni-kiel.de/en/startpage	Wissenschaftliche Einrichtung
WISSENSCHAFTSZENTRUM	Wissenschaftszentrum Kiel GmbH (CAU)	https://www.wissenschaftspark-kiel.de/wissenschaftszentrum	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR UR- UND FRÜHGESCHICHTE	Institut für Ur- und Frühgeschichte (CAU)	https://www.ufg.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE CHEMIE	Institut für Physikalische Chemie (CAU)	https://www.phc.uni-kiel.de/en/welcome-to-the-institute-of-ph	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ANORGANISCHE CHEMIE	Institut für Anorganische Chemie (CAU)	https://www.ac.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
LEIBNIZ-LABOR FÜR ALTERBESTIMMUNG UND ISOTOPE	Leibniz-Labor für Alterbestimmung und Isotopenforschung	https://www.leibniz.uni-kiel.de/en/home	Wissenschaftliche Einrichtung
HYDROAKUSTIK-LABOR UND GEOMARINER GERÄTE-PC	Hydroakustik-Labor und geomariner Geräte-Pool		Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN (ABTEILUNG GEOPHYSIK)		https://www.ifg.uni-kiel.de/en/startpage	Wissenschaftliche Einrichtung
CORELAB	CoreLab	https://www.corelab.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ORGANISCHE CHEMIE	Institut für organische Chemie (CAU)		Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ORGANISCHE CHEMIE (OTTO DIELS-INSTI	Institut für organische Chemie (CAU)	https://www.otto-diels-institut.de/en/otto-diels-institute-of-org	Wissenschaftliche Einrichtung
CHEMIE HÖRSÄLE 1&2	Institut für organische Chemie (CAU)		Wissenschaftliche Einrichtung
KLEINER HÖRSAAL ANORGANISCHE CHEMIE	Institut für anorganische Chemie (CAU)		Wissenschaftliche Einrichtung
ZENTRUM FÜR KLINISCHE ANATOMIE (ZKA)	Zentrum für klinische Anatomie (ZKA)	https://www.anatomie.uni-kiel.de/de/zka	Wissenschaftliche Einrichtung
BIOCHEMISCHES INSTITUT	Biochemisches Institut (CAU)	https://www.uni-kiel.de/Biochemie/scripts/dynamic/index.php	Wissenschaftliche Einrichtung
BIOCHEMISCHES INSTITUT	Biochemisches Institut (CAU)	https://www.uni-kiel.de/Biochemie/scripts/dynamic/index.php	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR UR- UND FRÜHGESCHICHTE	Institut für Ur- und Frühgeschichte (CAU)	https://www.ufg.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
BIOLOGIEZENTRUM	Biologiezentrum (CAU)	https://www.biologie.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ALLGEMEINE MIKROBIOLOGIE	Institut für allgemeine Mikrobiologie (CAU)	https://www.mikrobio.uni-kiel.de/de	Wissenschaftliche Einrichtung
ZENTRUM FÜR BIOCHEMIE UND MOLEKULARBIOLOGIE	Zentrum für Biochemie und Molekularbiologie (CAU)	https://www.zmb.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
HÖRSÄLE BIOLOGIE	Botanisches Institut (CAU)		Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR KLINISCHE MOLEKULARBIOLOGIE	Institut für klinische Molekularbiologie (CAU)	https://www.medin.uni-kiel.de/de/einrichtungen/klinisch-the	Wissenschaftliche Einrichtung
ZENTRUM FÜR BIOCHEMIE UND MOLEKULARBIOLOGIE	Zentrum für Biochemie und Molekularbiologie (CAU)	https://www.bimo.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
ZENTRUM FÜR MOLEKULARE BIOWISSENSCHAFTEN (Z)	Zentrum für Molekulare Biowissenschaften (ZMB)	https://www.zmb.uni-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
MOLECULAR IMAGING NORTH COMPETENCE CENTER (MOIN CC)	Molecular Imaging North Competence Center (MOIN CC)	https://www.moincc.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
STRAHLENSCHUTZSEMINAR		https://www.uni-kiel.de/strahlenschutz-seminar/	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR EXPERIMENTELLE UND ANGEWANDTE PH	Institut für Experimentelle und Angewandte Physik	https://www.physik.uni-kiel.de/de/institute/ieap	Wissenschaftliche Einrichtung
PHYSIKZENTRUM	Institut für theoretische Physik und Astrophysik		Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK UND ASTROPHYSIK	Institut für theoretische Physik und Astrophysik	https://www.physik.uni-kiel.de/de/lehre/lehveranstaltungen/it	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR OKOSYSTEMFORSCHUNG		https://www.ecosystems.uni-kiel.de/de/index	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTE	Technische Fakultät, Gebäude B	https://www.tf.uni-kiel.de/eti/instituti/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTE	Technische Fakultät, Gebäude C	https://www.tf.uni-kiel.de/eti/instituti/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTE	Technische Fakultät, Gebäude D	https://www.tf.uni-kiel.de/eti/instituti/de	Wissenschaftliche Einrichtung
NANOLABOR (REINRAUM, TEM-CENTER)	Technische Fakultät, Gebäude E	https://www.kompetenzzentrum-nanosystemtechnik.uni-kiel.de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTE	Technische Fakultät, Gebäude F	https://www.tf.uni-kiel.de/eti/instituti/de	Wissenschaftliche Einrichtung
INSTITUT FÜR MATERIALWISSENSCHAFT	Technische Fakultät, Gebäude F	https://www.studium.uni-kiel.de/de/studienangebot/studienfa	Wissenschaftliche Einrichtung
ZENTRUM FÜR MATERIALANALYTIK	Technische Fakultät, Gebäude F	http://www.cma-kiel.de/	Wissenschaftliche Einrichtung
PRAKTIKUMSRÄUME	Technische Fakultät, Gebäude F		Wissenschaftliche Einrichtung

Tabelle 2 Einrichtungen mit EMV Konfliktpotential (GIS LH Kiel, Stand 27.8.21)

2.3 Clusterbildung

Die genauere Betrachtung der relevanten Einrichtungen ergab, dass sich die gemeldeten Geräte in vier geographischen Clustern befinden:

- Cluster Christian-Albrechts-Universität (CAU) Nord: Der Bereich um das nördliche Ende der Olshausenstraße, alle Geräte werden durch unterschiedliche Einrichtungen der CAU betrieben. Dabei wurde die bauliche Entwicklung des Bremerskampquartiers mit der Lokalisierung der Institutionen und deren Geräte nach 2030 bereits aufgegriffen (siehe auch Anlage 1 Bremerskamp Rahmenplan).
- Cluster CAU Süd: Der Bereich um das südliche Ende der Olshausenstraße, alle Geräte werden durch unterschiedliche Einrichtungen der CAU betrieben. Auch hier wurden die der CAU bereits bekannten baulichen Entwicklungen der Zukunft soweit möglich aufgegriffen.
- Cluster Gaarden Ostufer: Auf dem Gelände der technischen Fakultät der CAU sind Ramboll mehrere Geräte bekannt, die empfindlich gegenüber elektromagnetischen Feldern sind.
- Cluster Schwentine: Für den Bereich der Schmerzklinik liegen Ramboll vom Betreiber noch keine Daten vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass hier empfindliche Geräte installiert sind und das auf Grund der unmittelbaren Trassennähe eine Feldreduktion notwendig sein wird.
- Cluster Städtisches Klinikum: Für diesen Bereich wurden Geräte aufgelistet, aber ohne Immunitätslevel. Auch werden diese nach Angaben des Klinikums ohnehin bis zur Inbetriebnahme des HÖV-Systems ersetzt und eine Abstimmung kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

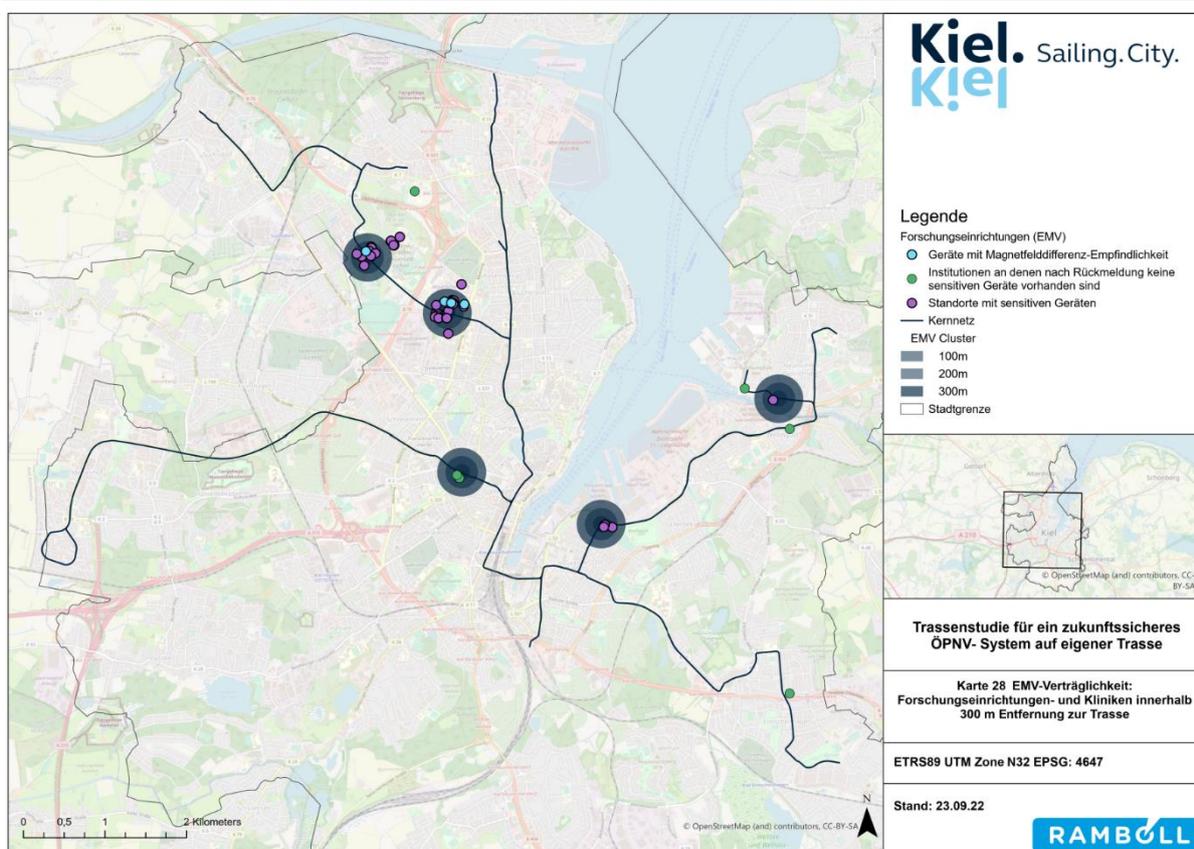


Abbildung 4 Graphische Darstellung der fünf Cluster

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

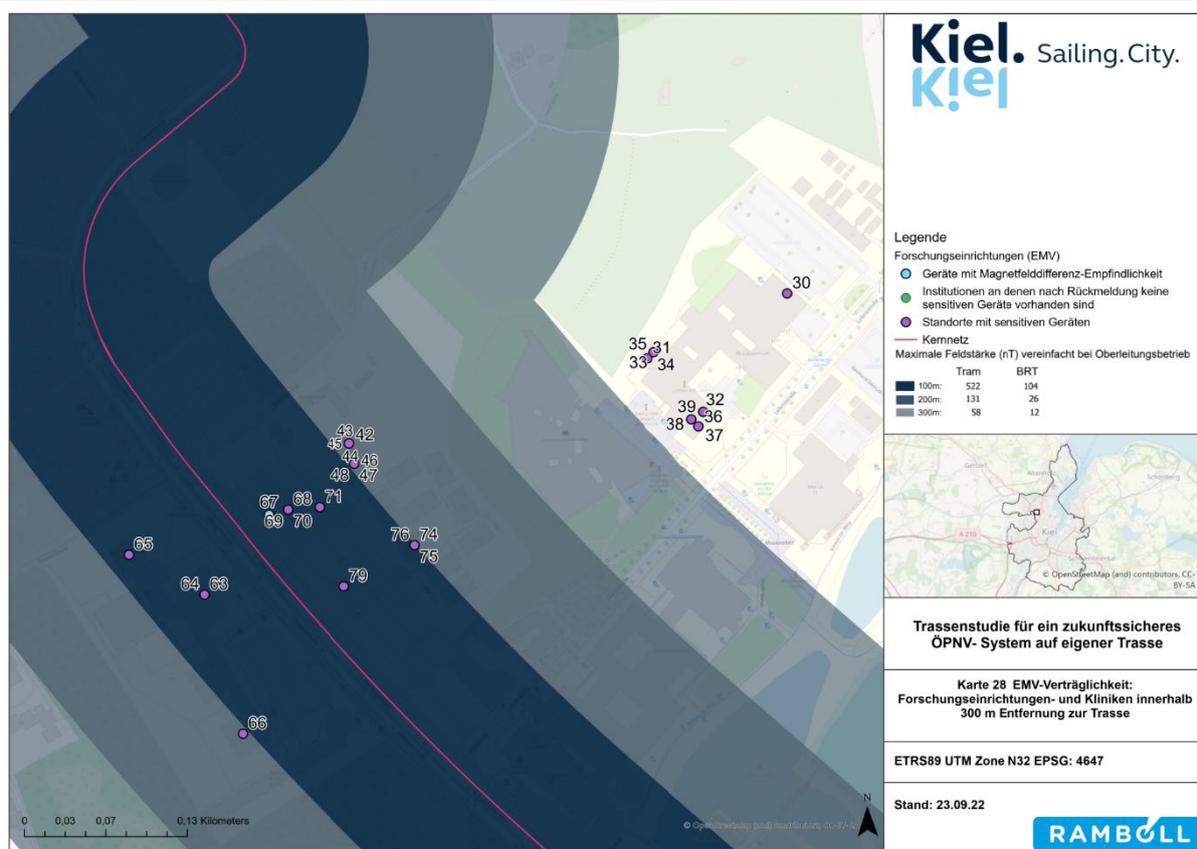


Abbildung 5 Graphische Darstellung des Clusters CAU Nord

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

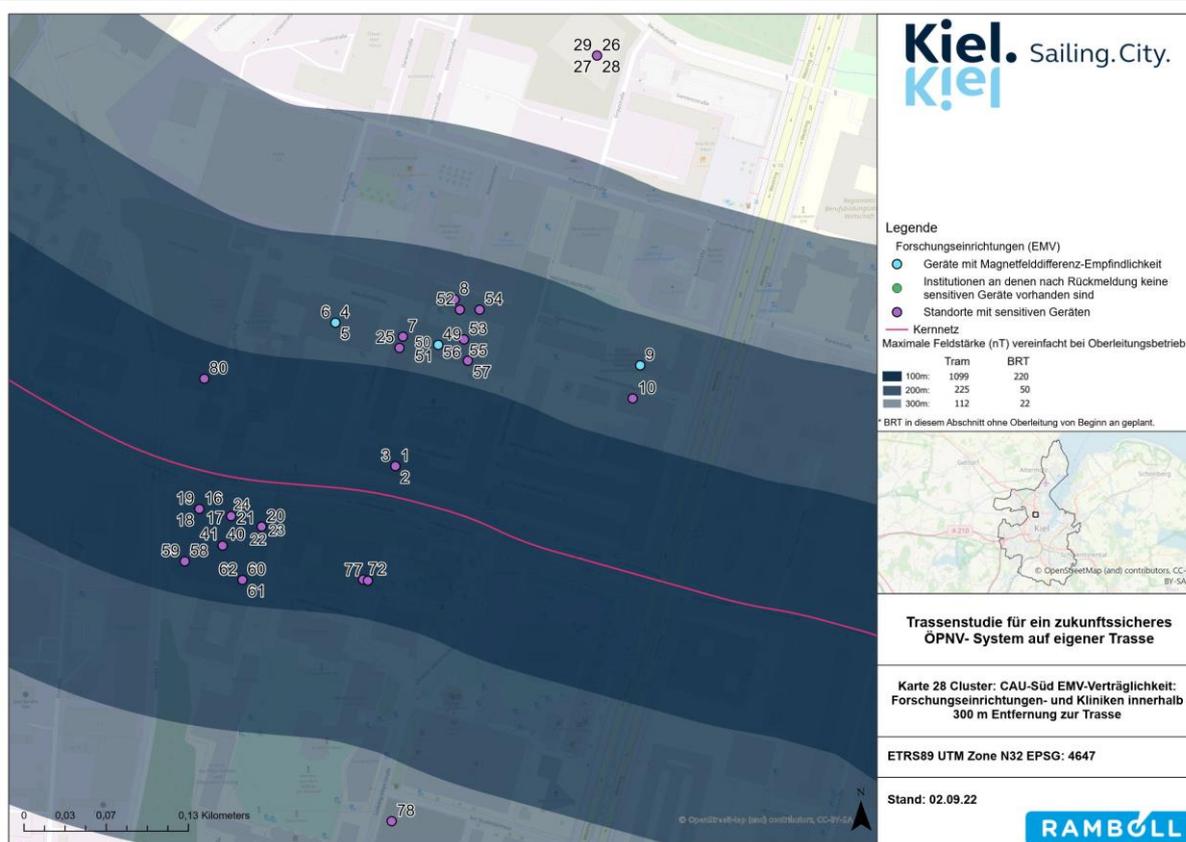


Abbildung 6 Graphische Darstellung des Clusters CAU Süd

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

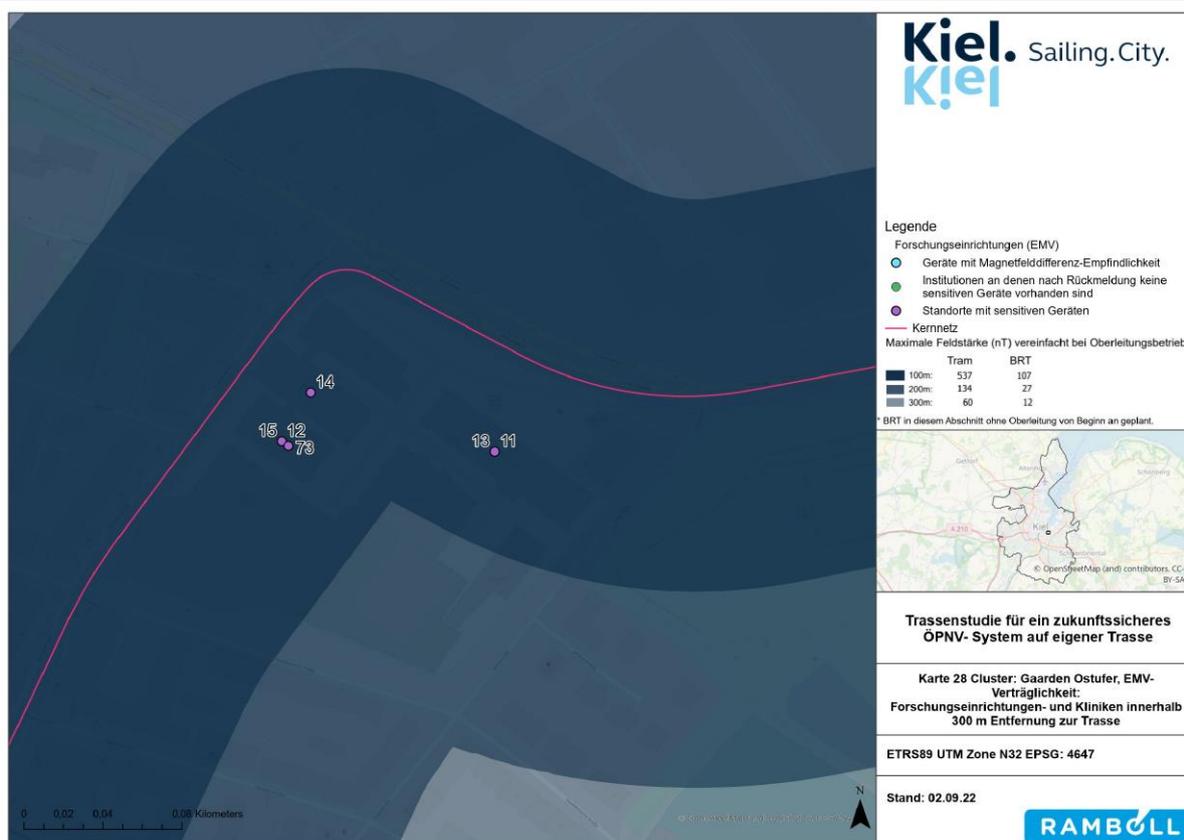


Abbildung 7 Graphische Darstellung des Clusters Gaarden

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

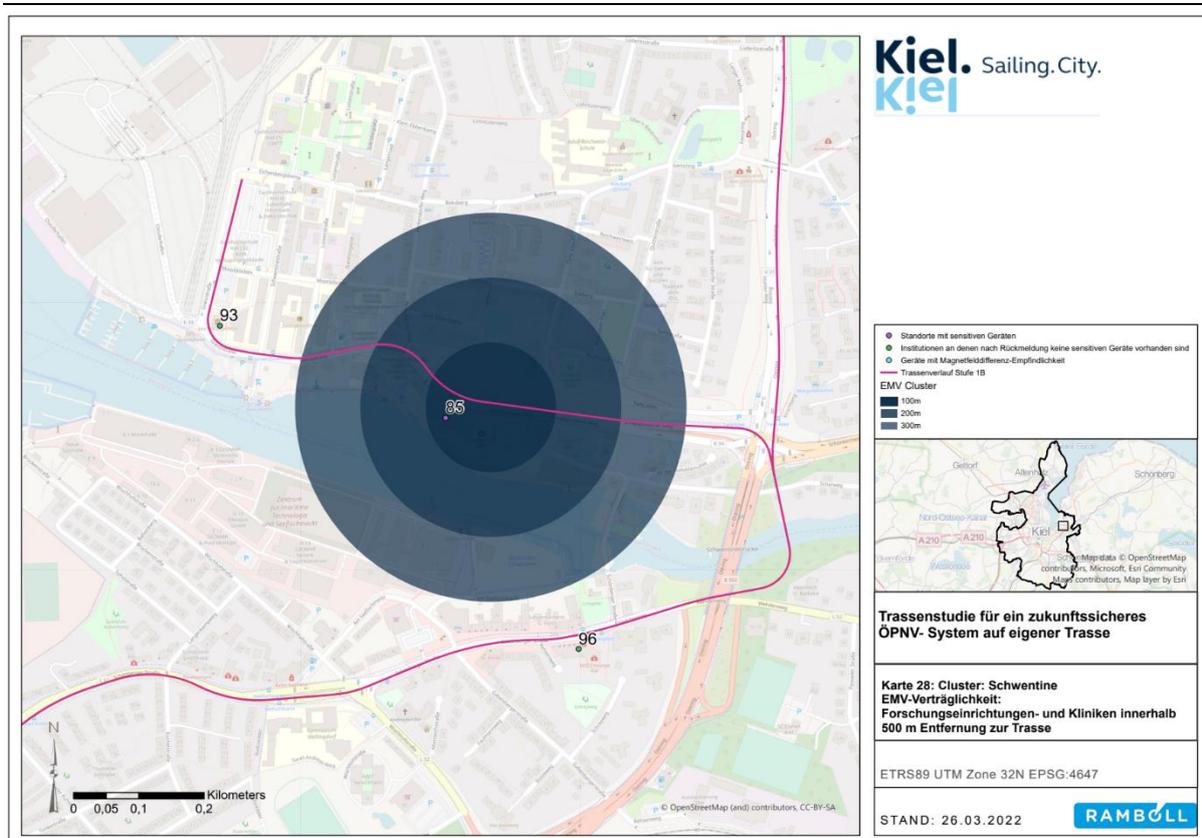


Abbildung 8 Graphische Darstellung des Clusters Schwentine

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

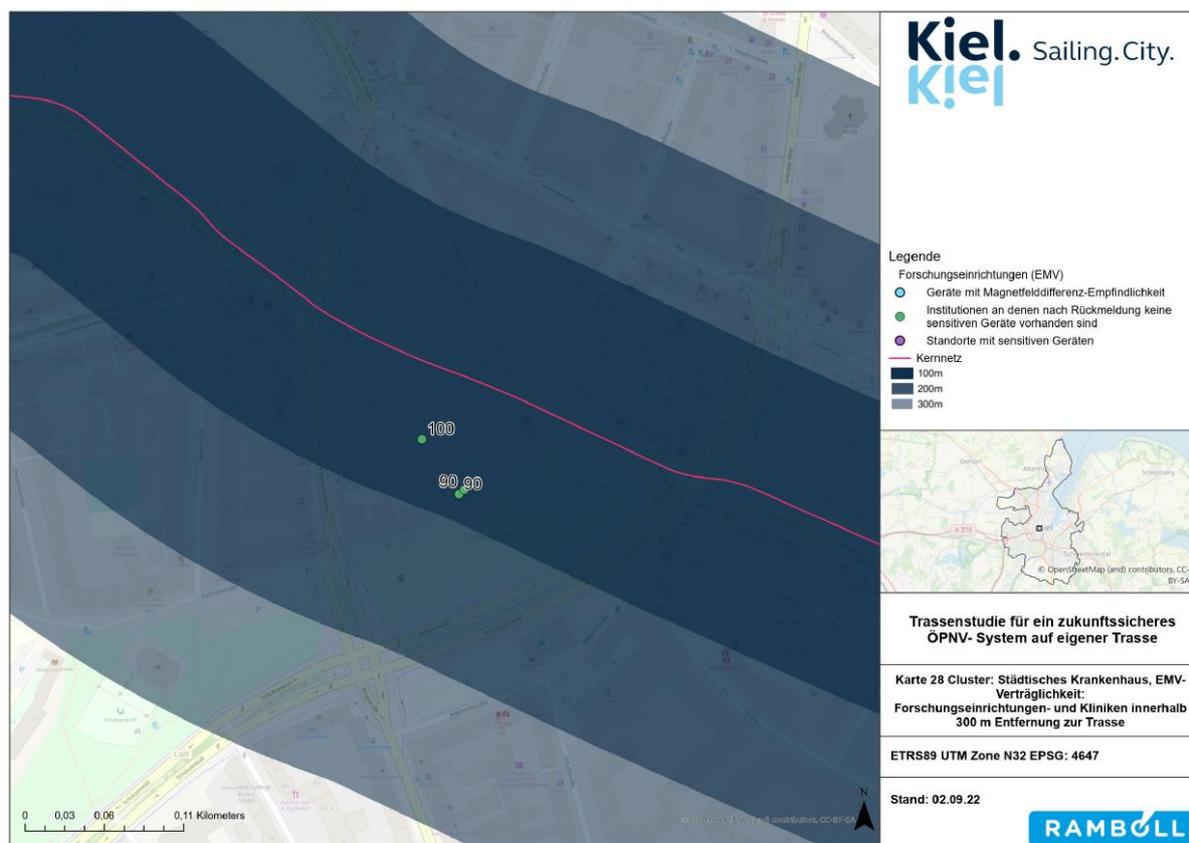


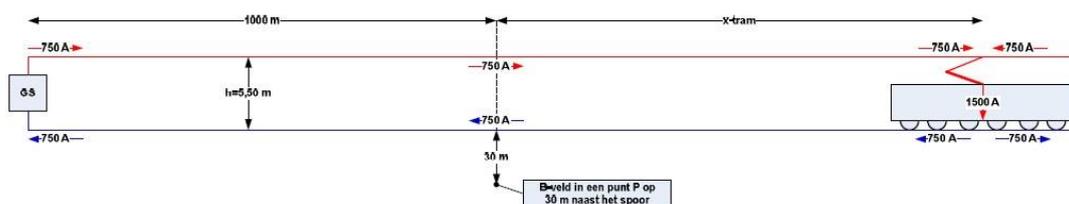
Abbildung 9 Graphische Darstellung des Clusters Städtisches Krankenhaus

3 Vereinfachter Vergleich

3.1 Eingangsgrößen EM-Felderzeugung

Die EM-Grundlagen wurden in Abschnitt 1.1 kurz erläutert. Die Höhe der elektromagnetischen Felder, die im Wesentlichen um die Oberleitung herum erzeugt werden, hängt von der Stromaufnahme der Fahrzeuge in Ampere ab und ist mehr oder weniger konstant zwischen dem Fahrzeug und dem nächstgelegenen Unterwerk (siehe folgende Abbildung). Auch ist die Höhe der Oberleitung (in Kiel 5,50 m als Standard, das ist der Abstand zwischen Stromzuführung und Abführung bei dem System Tram) und die Anzahl der in einem elektrischen Abschnitt (zwischen zwei Unterwerken) verkehrenden Fahrzeuge wichtig. Alle Fahrzeuge weisen ein unterschiedliches Verhalten auf, z.B. Anfahren, Fahren mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsen oder Stillstand, was zu variierendem Stromverbrauch führt.

Example: B-field in point P



- x-tram=1000 m - $|B_p| = 906 \text{ nT}$
- x-tram=500 m - $|B_p| = 909 \text{ nT}$
- x-tram=100 m - $|B_p| = 943 \text{ nT}$
- x-tram=25 m - $|B_p| = 1028 \text{ nT}$
- x-tram=0 m - $|B_p| = 941 \text{ nT}$

Abbildung 10 Beispielhafter Aufbau Elektromagnetischer Felder zwischen Tram-Fahrzeug und Unterwerk (Fahrdrathöhe 5,50 m), Quelle: Microsim, Dick van Bekkum

In Kiel wird der Einsatz von drei verschiedenen Fahrzeugtypen in Kombination mit einer Oberleitung untersucht. Die folgende Tabelle 3 beinhaltet Schätzwerte für den Energieverbrauch und den Spitzenstrombedarf der verschiedenen Modelle basierend auf den folgenden Annahmen:

- Tram:
 - Bei einer Fahrmasse von 45 t spezifischer Verbrauch für die Traktion von 3,0 kWh/km

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

- Bei einer Grundfläche von 90 m² ein spezifischer Energieverbrauch von 0,75 kWh/km
- BRT:
 - Rollwiderstand bei BRT deutlich höher als bei der Tram und damit auch der spezifische Energieverbrauch.
 - Der spezifische Verbrauch von E-Bussen ist aufgrund des besseren Wirkungsgrades des Antriebes und trotz höherer Leermasse niedriger als der von Dieseln.
- Weitere Annahmen:
 - Aufbau der Fahrleitungsanlage, die einen guten Rückspeisegrad von mind. 25% sicherstellt.
 - Durchschnittlicher Besetzungsgrad mit Fahrgästen von 40 % (für die Gewichtsrechnung über den gesamten Werktag)
 - Das Klima in Kiel ist warm und gemäßigt. Es gibt viel Niederschlag in Kiel, selbst im trockensten Monat. Die Klimaklassifikation nach Köppen und Geiger lautet Cfb. Die Temperatur liegt in Kiel im Jahresdurchschnitt bei 9.5 °C. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt 750 mm.
 - Fahrdratspannung 750 V DC
 - Anfahrwerte gemäß VDV 150
 - Vmax
 - Tram: 70 km/h
 - BRT 60 km/h

Typ	Masse	Fläche	Fahrgastkapazität	Schätzung Energiebedarf
25 m BRT	22 t		158	2,7 kWh/km
45 m Tram	58 t	120 m ²	160	5,8 kWh/km
54 m Tram	69 t	143 m ²	315	7,0 kWh/km

Tabelle 3 Abschätzung des Energiebedarfs der drei Fahrzeugtypen

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Daraus resultiert, je nach Einsatz, folgende abgeschätzte Stromaufnahme:

Typ: 25 m BRT			
Beschreibung	Traktion	Nebenverbraucher	Spitzenstrom
Endhaltestelle, stehend	0 A	80 A	80 A
Volle Anfahrtsbeschleunigung	670 A	80 A	750 A
Fahrt 20 km/h	30 A	80 A	110 A
Fahrt 40 km/h	90 A	80 A	170 A
Typ: 45 m Tram			
Beschreibung	Traktion	Nebenverbraucher	Spitzenstrom
Endhaltestelle, stehend	0 A	200 A	200 A
Volle Anfahrtsbeschleunigung	1450 A	200 A	1650 A
Fahrt 20 km/h	40 A	200 A	240 A
Fahrt 40 km/h	100 A	200 A	300 A
Typ: 54 m Tram			
Beschreibung	Traktion	Nebenverbraucher	Spitzenstrom
Endhaltestelle, stehend	0 A	250 A	250 A
Volle Anfahrtsbeschleunigung	1750 A	250 A	2000 A
Fahrt 20 km/h	50 A	250 A	300 A
Fahrt 40 km/h	110 A	250 A	360 A

Tabelle 4 Schätzung des Spitzenstroms der Fahrzeugtypen Tram und BRT

3.2 Betriebliche Grundlagen EM-Felderzeugung

Auf Basis dieser Eingangsgrößen wurden für den Betrieb des Mitfalls 3 und 4 mit vier HÖV-Linien und der bisherigen Oberleitungsplanung die elektromagnetischen Felder um die Tram- oder BRT-Trasse herum abgeschätzt.

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

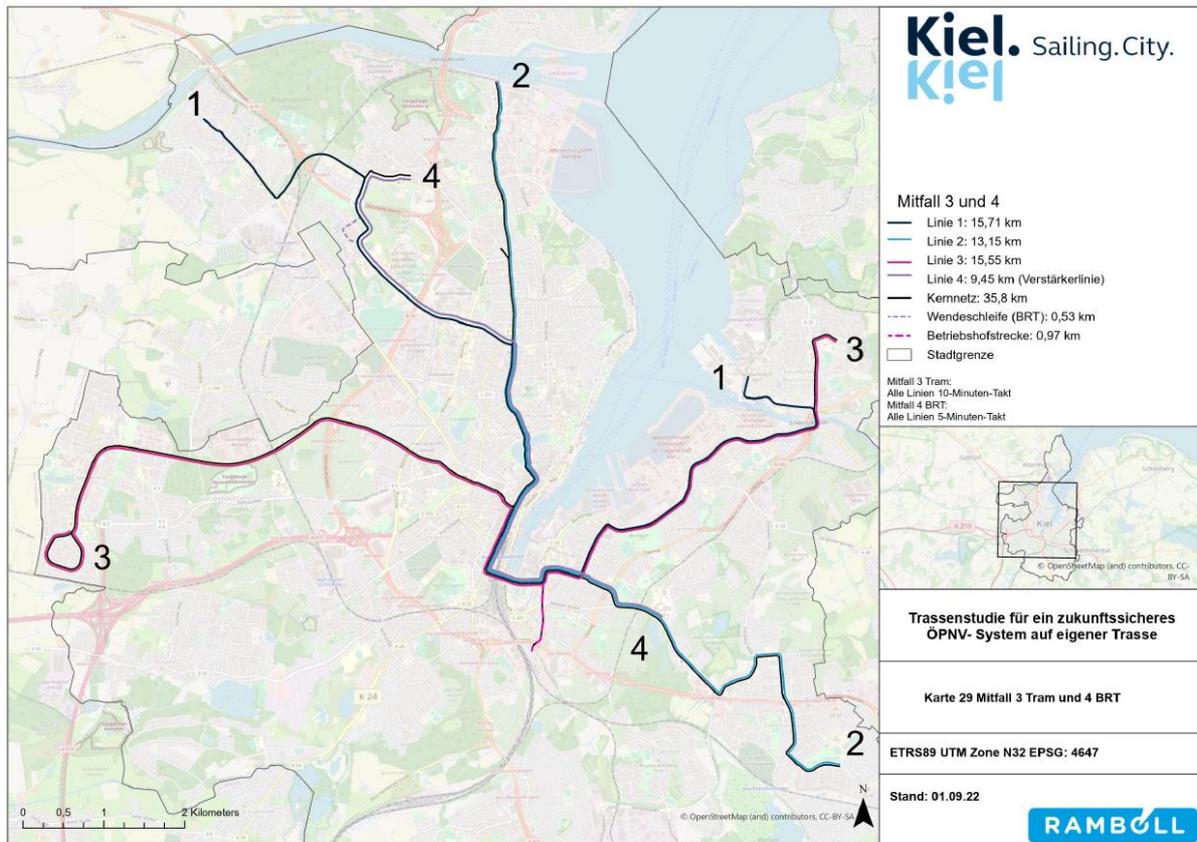


Abbildung 11 Mitfall 3+4

Im Fall Tram ist bisher im gesamten System eine Oberleitung mit 750 V geplant, im Fall BRT nur eine partielle Oberleitung, wie die folgende Abbildung zeigt (siehe auch Dokumentation zum AP A-161 Elektrische Anlagen).

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

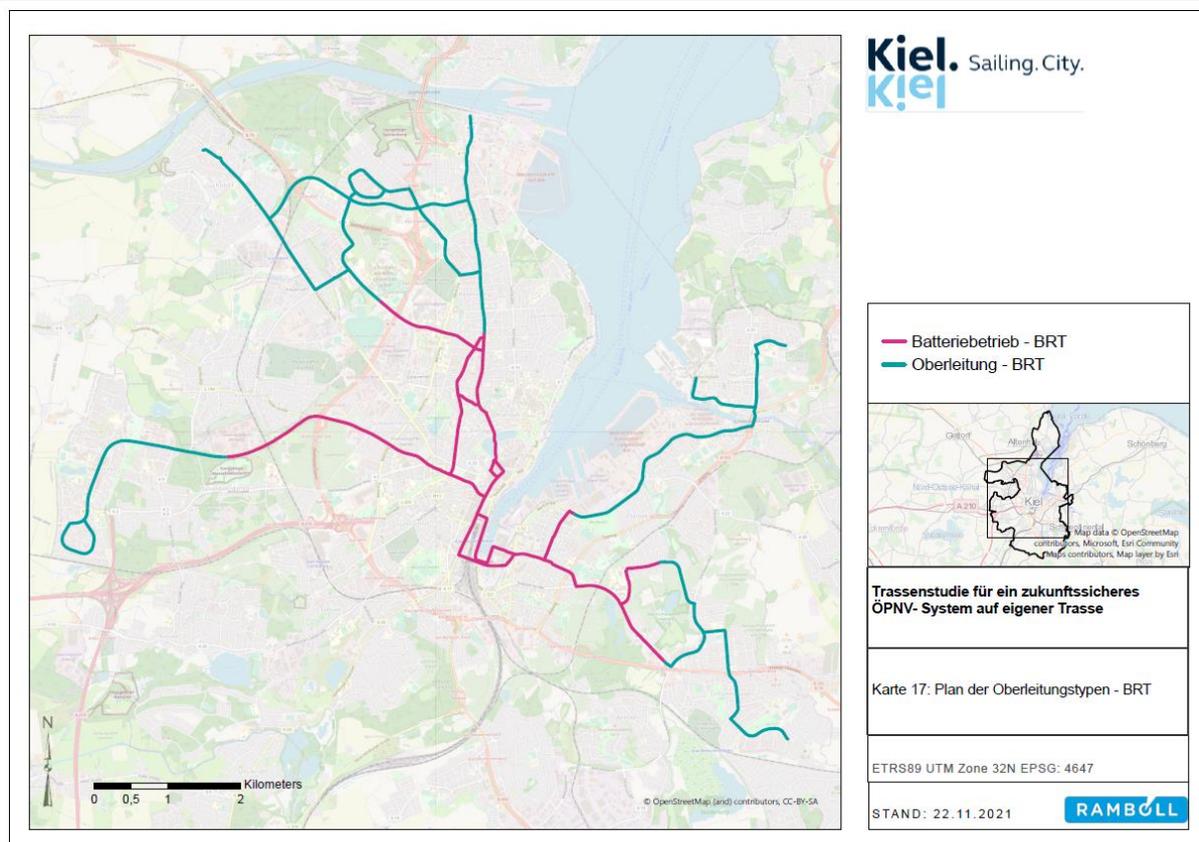


Abbildung 12 BRT-Streckenabschnitte mit Oberleitung (50 km Netz Stufe 1B, noch ohne Berücksichtigung EMV)

Die Felder sind ein direktes Resultat aus dem spezifischen Verkehrsaufkommen zwischen zwei Unterwerken (siehe folgende Karte aus Dokumentation zu AP A-161) in einem elektrischen Abschnitt. Dabei wurde abgeschätzt, wie viele Fahrzeuge für einen normalen und verspäteten Betrieb sich in diesem Abschnitt befinden und wie sich diese verhalten. Die höchste Stromaufnahme erfolgt bei voller Beschleunigung, bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit ist diese deutlich geringer (siehe Kapitel 3.1). In dieser Berechnung sind noch keine Maßnahmen, welche die Stromaufnahme verringern (z.B. geringere Beschleunigung durch Begrenzung der Anfahrströme) mit eingerechnet. Die maximalen Felder ergeben sich für den Verspätungsfall, in dem mehr Fahrzeuge zur gleichen Zeit in einem Abschnitt verkehren.

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse



Abbildung 13 Geplante Unterwerksstandorte Tram (Stand 19.01.2022)

Für die Cluster, zu denen Geräte mit kritischen Immunitätslevel zurückgemeldet wurden (Cluster CAU Nord, Süd und Gaarden), wurde das Verkehrsaufkommen wie folgend für den Tram Betrieb mit einer stromführenden Oberleitung eingeschätzt.

Abschnitt GUV_NW3 bis GUV_NW2				
Linie	Betrieb	Fahrzeugzusammensetzung	Verbrauch	Feld
1	Normal	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	2x 2000 A Σ 4000 A	100 m: 479 nT 200 m: 120 nT 300 m: 53 nT
1	Verspätet	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x) 54m, Fahrt 40kmh, Tram (1x)	2x 2000 A 1x 360 A Σ 4360 A	100 m: 522 nT 200 m: 131 nT 300 m: 300 nT

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

				58 nT
Abschnitt G UW_NW2 bis G UW_N3				
1	Normal	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	2x 2000 A Σ 4000 A	100 m: 479 nT 200 m: 120 nT 300 m: 53 nT
1	Verspätet	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x) 54m, Fahrt 40kmh, Tram (2x)	2x 2000 A 2x 360 A Σ 4720 A	100 m: 565 nT 200 m: 141 nT 300 m: 63 nT
4	Normal	45m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x) 45m, Endhaltestelle, Tram (1x)	2x 1650 A 1x 200 A Σ 3500 A	100 m: 419 nT 200 m: 105 nT 300 m: 47 nT
4	Verspätet	45m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x) 45m, Endhaltestelle, Tram (2x)	2x 1650 A 2x 200 A Σ 3700 A	100 m: 443 nT 200 m: 111 nT 300 m: 49 nT
1+4	Normal	Linie 1 Linie 4	4000 A 3500 A Σ 7500 A	100 m: 899 nT 200 m: 225 nT 300 m: 100 nT
1+4	Verspätet	Linie 1 Linie 4	4720 A 3700 A Σ 8420 A	100 m: 1099 nT 200 m: 252 nT 300 m: 112 nT
Abschnitt G UW_NO1/ G UW_SO4 / G UW_NO2 (Ohne Trennung)				
Alle	Normal	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (4x) 45m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	4x 2000 A 2x 1650 A Σ 14600 A	100 m: 1749 nT 200 m: 437 nT 300 m:

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

				194 nT
Alle	Verspätet	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (4x)	4x 2000 A	100 m: 1807 nT
		45m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	2x 1650 A	200 m: 452 nT
		45m, Fahrt 20kmh, Tram (2x)	2x 240 A	300 m: 300 nT
			Σ 15080 A	201 nT
Abschnitt G UW_NO1/ G UW_SO4 / G UW_NO2 (Mit Trennung)				
Alle	Normal	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	2x 2000 A Σ 4000 A	100 m: 479 nT 200 m: 120 nT 300 m: 53 nT
Alle	Verspätet	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (2x)	2x 2000 A	100 m: 537 nT
		45m, Fahrt 20kmh, Tram (2x)	2x 240 A	200 m: 134 nT
			Σ 4480 A	300 m: 60 nT

Tabelle 5 Betriebliche Grundlage der EM-Felderzeugung (Tram)

In den Abschnitten G UW_NO1/ G UW_SO4 / G UW_NO2 ist ein sehr dichter Betrieb zwischen den Unterwerken zu erwarten. In jedem Fall empfiehlt es sich an der Ecke Karlstor/ Elisabethstraße eine elektrische Trennung der Oberleitung durchzuführen. Das hätte zur Folge, dass das EM-Feld in dieser Sektion wesentlich verringert werden kann, da die Anzahl der dort verkehrenden Fahrzeuge sich klar reduziert.

Analog dazu kann auch der Betrieb einer BRT Trasse bei stromführender Oberleitung berechnet werden. Da im BRT-Fall die Oberleitung und der Rückleiter direkt nebeneinander in der Luft hängen und sich somit direkt kompensieren, hat das induzierte Feld bauartbedingt nur eine Stärke von ca. 10 % im Vergleich zu einem vergleichbaren Tram Betrieb.

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abschnitt G UW_NW3 bis G UW_NW2 (BRT)				
Linie	Betrieb	Fahrzeugzusammensetzung	Verbrauch	Feld
1	Normal	25m, Anfahrtsbeschleunigung, BRT (2x)	2x 750 A Σ 1500 A	100 m: 18 nT 200 m: 4 nT 300 m: 2 nT
1	Verspätet	25m, Anfahrtsbeschleunigung, BRT (2x) 25m, Fahrt 40kmh, BRT (1x)	2x 750 A 1x 170 A Σ 1670 A	100 m: 20 nT 200 m: 5 nT 300 m: 2 nT
Abschnitt G UW_NO2 / G UW_NO3 (BRT)				
1+3	Normal	25m, Anfahrtsbeschleunigung, BRT (2x)	4x 750 A Σ 3000 A	100 m: 36 nT 200 m: 9 nT 300 m: 4 nT
1+3	Verspätet	54m, Anfahrtsbeschleunigung, Tram (4x) 25m, Fahrt 40kmh, BRT (2x)	4x 750 A 2x 170 A Σ 3340 A	100 m: 40 nT 200 m: 10 nT 300 m: 4 nT

Tabelle 6 Betriebliche Grundlage der EM-Felderzeugung (BRT)

3.3 EM-Felder Tram und BRT

Folgende Felder ergeben sich für die beiden Systeme nach diesen technischen Grundlagen und betrieblichen Annahmen.

3.3.1 Tram

Der Betrieb einer Tram mit stromführender Oberleitung induziert in den „Problemclustern“ die folgenden elektromagnetischen Felder. Da für den Bereich *Schwentine* und *Städtisches Klinikum* keine Angaben über Immunitätslevel der Geräte vorliegen, kann kein Vergleich mit dem erzeugten Feld stattfinden. Deswegen wurden die induzierten Felder auch nicht berechnet:

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Cluster	Betrieb	Feldstärke (nT)		
		100 m	200 m	300 m
CAU Nord	Normal	479	120	53
CAU Nord	Verspätet	522	131	58
CAU Süd	Normal	899	225	100
CAU Süd	Verspätet	1099	252	112
Gaarden Ostufer (Ohne Trennung)	Normal	1749	437	194
Gaarden Ostufer (Ohne Trennung)	Verspätet	1807	452	201
Gaarden Ostufer (Mit elektrischer Trennung)	Normal	479	120	53
Gaarden Ostufer (Mit elektrischer Trennung)	Verspätet	537	134	60

Tabelle 7 EM-Feldstärke in den Problemclustern (Tram)

3.3.2 BRT

Bauartbedingt induziert ein BRT-Betrieb mit stromführender Oberleitung auch ein EM-Feld. Dieses beträgt bei gleicher Stromversorgung ca. 10 % des Feldes, das durch einen Tram Betrieb induziert wird. Aufgrund der geringeren Beförderungskapazität eines BRT sind ca. doppelt so viele Fahrzeuge wie bei einem Tram Betrieb pro Abschnitt notwendig. Folglich induziert das Feld eines BRT Betriebes bei identischen Parametern (Abschnittslänge, Beförderungskapazität) ein EM-Feld mit ca. 20 % der Höhe eines vergleichbaren Tram Betriebes.

Da für den Bereich *Schwentine* und *Städtisches Klinikum* keine Angaben über Immunitätslevel der Geräte vorliegen, kann kein Vergleich mit dem erzeugten Feld stattfinden. Deswegen wurden die induzierten Felder auch nicht berechnet:

Cluster	Betrieb	Feldstärke (nT)		
		100 m	200 m	300 m
CAU Nord	Normal	96	24	11
CAU Nord	Verspätet	104	26	12
CAU Süd	Normal	180	45	20
CAU Süd	Verspätet	220	50	22
Gaarden Ostufer (Ohne Trennung)	Normal	350	87	39
Gaarden Ostufer (Ohne Trennung)	Verspätet	361	90	40
Gaarden Ostufer (Mit Trennung)	Normal	96	24	11
Gaarden Ostufer (Mit Trennung)	Verspätet	107	27	12

Tabelle 8 EM-Feldstärke in den Problemclustern (BRT)

3.4 Vergleich der Feldstärken mit den Immunitätswerten von Geräten in den betroffenen Einrichtungen

Konkret sind von den EM-Feldern die Geräte betroffen, die mit Niederspannung oder präzisen Magnetfeldern arbeiten. Zu diesen gehören, wie bereits erwähnt, unter anderem MRT-Geräte, Elektronenmikroskope und NMR-Spektrometer. Der Vergleich ist zuerst anhand der Feldberechnungen für den Trambetrieb geschehen, welcher die deutlich höheren Feldstärken aufweist. BRT weist geringere Felder auf, zeigt aber auch Beeinflussungen.

3.4.1 Beeinflussung von Geräten

Die durch den Betrieb des HÖV entstandenen magnetischen Gleichstromfelder können einen Einfluss auf die störungsfreie Funktion diverser Geräte haben. Zunächst ist davon auszugehen, dass Geräte, die in herkömmlichen Haushalten vorhanden sind, alle den genormten Anforderungen zur elektromagnetischen Verträglichkeit entsprechen. Ist dies der Fall, und liegt die Störaussendung des in Betrieb genommenen HÖV-Systems ebenfalls in der entsprechenden Normgrenze (DIN EN 50121-2 [4]), so ist nicht davon auszugehen, dass die Funktion von Haushaltsgeräten beeinträchtigt wird.

Eine Ausnahme stellen Geräte in Haushalten dar, die auf Basis von Elektronenstrahlröhren funktionieren. Zu diesen gehören die Bildschirme von älteren Computern und Fernsehgeräten. Eine Störung in diesen Geräten ist durch Farbverfälschungen und Bildverzerrungen bemerkbar und schränkt somit deren Nutzen stark ein. Die Toleranz der Bildschirme gegenüber den magnetischen Gleichfeldern ist bei stehenden Bildern (Bsp. Computeranwendungen) besonders sensibel und steigt bei bewegten Bildern (Bsp. Fernsehprogramm und Videos). Ein weiterer Faktor ist die Bildschirmdiagonale. Hier nimmt die EM-Sensibilität mit der Größe des Bildschirms zu.

Neuere Computer und Fernseher verwenden aber fast ausschließlich Bildschirme, die auf der technologischen Basis von Flüssigkristallen (LCD), Leuchtdioden (LED/OLED) oder Plasma funktionieren. Diese Technologien sind gänzlich unempfindlich gegenüber magnetischen Gleichfeldern. Auch andere Haushaltsgeräte sollten durch den Betrieb eines HÖV-Systems mit Oberleitung keine technischen Beeinträchtigungen erfahren.

Die Gefahr einer Funktionsstörung und deren Tragweite wird wesentlich signifikanter bei Messgeräten, die in wissenschaftlichen und industriellen Einrichtungen verwendet werden. Auf Grund der unterschiedlichen Bauarten und Hersteller dieser Geräte ist es nicht möglich pauschale Aussagen bezüglich deren elektromagnetischen Verträglichkeit zu treffen.

Im medizinischen Bereich stehen bei vergleichbaren Untersuchungen primär die folgenden Gerätetypen im Mittelpunkt:

- Elektronenrastermikroskope
- Kernspintomographen
- Massenspektrometer

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Grundsätzlich ist auch hier eine pauschale Aussage nicht zulässig. Bauartbedingt wird die Funktion der genannten Geräte durch kleinste Veränderungen im umliegenden magnetischen Feld beeinträchtigt, es ist somit eine Einzelbetrachtung aller in Frage kommenden Einrichtungen mit ihren spezifischen Geräten notwendig.

3.4.2 Geräte im Abgleich

Auf Basis der in 2.2 beigefügten Liste, wurden die entsprechenden Stakeholder kontaktiert. Im Anhang befindet sich eine detaillierte Auflistung aller Rückmeldungen. Sofern die Datenlage es zuließ, wurde bereits ein Abgleich der erwartbaren EM-Feldstärke und der angegebenen Immunität der Geräte vorgenommen. Der Abgleich zeigt, dass ein Großteil der identifizierten Geräte durch das EMF in ihrer Funktion eingeschränkt sein können, sollten keine weiteren Maßnahmen getroffen werden.

Zum Abgleich war die Ermittlung der genauen Distanz des Gerätes von der Trasse sowie die Immunität gegenüber EMF laut Herstellerangaben notwendig.

Der EMV-Wert der Geräte wird dabei aus Sicherheitsgründen halbiert (übliches Vorgehen in vergleichbaren Projekten zu diesem frühen Projektstatus, da die genaue Datenlage über Lage der Trasse, Fahrzeuge, Takt noch nicht fixiert ist), somit wird das Gerät im Vergleich als sensibler dargestellt als es in Realität ist. Diese Maßnahme garantiert auch bei beispielsweise Messfehlern oder unvorhersehbaren Änderungen im Betrieb eine einwandfreie Funktion des entsprechenden Gerätes in der Zukunft. Liegt der berechnete Wert im Toleranzbereich der EM-Verträglichkeit des Gerätes, so sind keine weiteren Maßnahmen notwendig. Überschreitet der Wert die Toleranzgrenze, so gilt es individuell zu prüfen, welche Maßnahmen zu treffen sind, um einen langfristigen und einwandfreien Betrieb des Gerätes zu gewährleisten.

Anhand dieses Abgleiches wird jedes Gerät in eine Risikogruppe eingeteilt:

- Grün: die zu erwartende Feldstärke am Standort des Gerätes liegt unter 50 % des gemäß Hersteller zulässigen Grenzwertes.
- Gelb: die zu erwartende Feldstärke am Standort des Gerätes liegt zwischen dem gemäß Hersteller zulässigen Grenzwert und dessen Hälfte (50 %).
- Rot: die zu erwartende Feldstärke am Standort des Gerätes liegt über dem gemäß Hersteller zulässigen Grenzwert.

3.4.3 Ergebnis

Der Abgleich zeigt, dass diverse Einrichtungen im Konflikt mit der EMF-Emission der geplanten HÖV-Trasse nur im Fall Tram stehen. Die BRT-Felder sind deutlich niedriger und ggf. kann beim BRT der oberleitungsfreie Abschnitt, da der BRT ja ohnehin nur 30 bis 40 % Oberleitung aufweist, etwas vergrößert werden. Unabhängig von den Maßnahmen ist das durch einen BRT Betrieb induzierte Feld ca. 80 % geringer als das durch einen Tram Betrieb induzierte Feld (bei identischer Beförderungskapazität).

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Die folgende Liste beinhaltet demnach alle Geräte, deren Funktion nach einer BRT-Inbetriebnahme der Trasse beeinflusst sein kann, falls an dieser Stelle ein Oberleitungsbetrieb stattfinden würde. Die rechte Spalte gibt zudem an, um wie viel Prozent an dieser Stelle das EMF reduziert werden müsste, um das Gerät in die ‚Grüne‘ Risikogruppe einordnen zu können.

Feldkonflikte Cluster CAU Nord (BRT)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
31 - 39	CAU Institut f. Exp. u. Angew. Physik (IEAP)	Angaben vertraulich	300-400 m	Reduktion: 40-50%
43	CAU Biologiezentrum	Rasterelektronenmikroskop Zeiss Sigma 300 VP (v)	111,4 m	Ist: 32nT Soll: 25 nT Reduktion: 22%
67	CAU Zoologisches Institut	Rasterelektronenmikroskop Hitachi S-4800 (v)	126,9 m	Ist: 66 nT Soll: 65 nT Reduktion: 1%
Feldkonflikte Cluster CAU Süd (BRT)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
1	CAU Anatomisches Institut	JEOL JEM-1400 (TEM)	29 m	Ist: 2399 nT Soll: 50 nT Reduktion: 98%
2	CAU Anatomisches Institut	Zeiss EM900 (TEM)	29 m	Ist: 2399 nT Soll: 50 nT Reduktion: 98%
3	CAU Anatomisches Institut	JEOL JSM-IT200 (REM)	29 m	Ist: 2399 nT Soll: 50 nT Reduktion: 98%
8	CAU Anorganische Chemie	(Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit EDX)	169 m	Ist: 70 nT Soll: 50 nT Reduktion: 64 %
16	CAU Institut für Geowissenschaften	Elektronenstrahl-Mikrosonde JEOL Jeol JXA 8900 (v)	30,2 m	Ist: 2241 nT Soll: 150 nT Reduktion: 93%

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

17	CAU Institut für Geowissenschaften	Rasterelektronenmikroskop Es wird ein Ersatzgerät beschafft Hitachi SU3900 (v)	30,2 m	Ist: 2241 nT Soll: 25 nT Reduktion: 96%
23	CAU Institut für Geowissenschaften	Vakuumspektrometer Bruker Vakuumspektrometer Vertex70v (g)	35,9 m	Ist: 1647 nT Soll: 700 nT Reduktion: 57%
49	CAU Physikalische Chemie	FT-ICR-MS Bruker APEX-IV Qe (v)	131 m	Ist: 118 nT Soll: 50 nT Reduktion: 57%
50	CAU Physikalische Chemie	FT-ICR-MS Bruker APEX-III (v)	131 m	Ist: 111 nT Soll: 50 nT Reduktion: 55%
53	CAU Physikalische Chemie	"LT-STM ScientaOmicron und weitere (g)"	141 m	Ist: 507 nT Soll: 50 nT Reduktion: 91%
54	CAU Physikalische Chemie	(LT-STM)	167 m	Ist: 72 nT Soll: 50 nT Reduktion: 31%
72	CAU Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde	STED Leica (g)	63 m	IST: 486 nT Soll: 50 nT Reduktion: 90%

Feldkonflikte Cluster Gaarden Ostufer (Ohne Trennung) (BRT)

ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
11	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol NeoArm ((S)TEM)	59 m	Ist: 6747 nT Soll: 12,5 nT Reduktion: 99%
12	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	TFS/FEI Tecnai F30 STwin (TEM)	43 m	Ist: 12702 nT Soll: 40 nT Reduktion: 99%
13	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol JEM-2100 (TEM)	59 m	Ist: 6747 nT Soll: 50 nT Reduktion: 99%

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

14	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Zeiss Gemini Ultra55Plus (SEM)	41 m	Ist: 13971 nT Soll: 150 nT Reduktion: 99%
15	CAU Materialwissenschaften	TFS/FEI Helios NanoLab Dualbeam (SEM)	43 m	Ist: 12702 nT Soll: 100 nT Reduktion: 99%
73	CAU Elektrotechnik und Informationstechnik	Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Hanau, Deutschland Vacoshield Advanced (Magnetische Abschirmkammer)	47 m	IST: 10632 nT Soll: 10 nT Reduktion: 99%

Feldkonflikte Cluster Gaarden Ostufer (Mit Trennung) (BRT)

ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
11	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol NeoArm ((S)TEM)	59 m	Ist: 1542 nT Soll: 12,5 nT Reduktion: 99%
12	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	TFS/FEI Tecnai F30 STwin (TEM)	43 m	Ist: 2903 nT Soll: 40 nT Reduktion: 99%
13	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol JEM-2100 (TEM)	59 m	Ist: 1542 nT Soll: 50 nT Reduktion: 97%
14	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Zeiss Gemini Ultra55Plus (SEM)	41 m	Ist: 3193 nT Soll: 150 nT Reduktion: 95%
15	CAU Materialwissenschaften	TFS/FEI Helios NanoLab Dualbeam (SEM)	43 m	Ist: 2903 nT Soll: 100 nT Reduktion: 97%
73	CAU Elektrotechnik und Informationstechnik	Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Hanau, Deutschland Vacoshield Advanced (Magnetische Abschirmkammer)	47 m	Ist: 2430 nT Soll: 10 nT Reduktion: 99%

Feldkonflikt Cluster Schwentine (BRT)

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
k.A	k.A	k.A	k.A	Ist: Soll: k.A Reduktion:
Feldkonflikt Cluster Städtisches Klinikum (BRT)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
k.A	k.A	k.A	k.A	Ist: Soll: k.A Reduktion:

Tabelle 9 Liste aller Geräte die im Konflikt mit dem EMF des BRT Betriebes stehen

Die folgende Liste beinhaltet demnach alle Geräte deren Funktion nach einer Tram-Inbetriebnahme der Trasse beeinflusst sein kann, falls an dieser Stelle ein Betrieb unter Oberleitung stattfinden würde:

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Feldkonflikte Cluster CAU Nord (Tram)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
31 - 39	CAU Institut f. Exp. u. Angew. Physik (IEAP)	Angaben vertraulich	300-400 m	Reduktion: 80-90%
42	CAU Biologiezentrum	Transmissionselektronenmikroskop FEI Tecnai G2 Spirit BioTwin (v)	111,4 m	Ist: 424nT Soll: 50nT Reduktion: 88%
43	CAU Biologiezentrum	Rasterelektronenmikroskop Zeiss Sigma 300 VP (v)	111,4 m	Ist: 424 nT Soll: 25 nT Reduktion: 94%
63	CAU Institut für Natur-und Ressourcenschutz	AGILENT (LC-MS)	55,4 m	Ist: 1727 nT Soll: 700 nT Reduktion: 60%
67	CAU Zoologisches Institut	Rasterelektronenmikroskop Hitachi S-4800 (v)	126,9 m	Ist: 329 nT Soll: 65 nT Reduktion: 80%
68	CAU Zoologisches Institut	Rasterelektronenmikroskop Hitachi TM-3000 (v)	39,1 m	Ist: 3434 nT Soll: 409 nT Reduktion: 88%
Feldkonflikte Cluster CAU Süd (Tram)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
1	CAU Anatomisches Institut	JEOL JEM-1400 (TEM)	29 m	Ist: 11993 nT Soll: 50 nT Reduktion: 99,6%
2	CAU Anatomisches Institut	Zeiss EM900 (TEM)	29 m	Ist: 11993 nT Soll: 50 nT Reduktion: 99,6%
3	CAU Anatomisches Institut	JEOL JSM-IT200 (REM)	29 m	Ist: 11993 nT Soll: 50 nT Reduktion: 99,6%

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

8	CAU Anorganische Chemie	(Hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop mit EDX)	169 m	Ist: 353 nT Soll: 25 nT Reduktion: 92,9%
16	CAU Institut für Geowissenschaften	Elektronenstrahl-Mikrosonde JEOL Jeol JXA 8900 (v)	30,2 m	IST: 11207 nT Soll: 150 nT Reduktion: 99%
17	CAU Institut für Geowissenschaften	Rasterelektronenmikroskop Es wird ein Ersatzgerät beschafft Hitachi SU3900 (v)	30,2 m	IST: 11207 nT Soll: 25 nT Reduktion: 100%
18	CAU Institut für Geowissenschaften	Thermo Element XR Hochauflösendes ICP-Massenspektrometer THERMO Scientific ELEMENT XR (v)	30,2 m	IST: 11207 nT Soll: 2500 nT Reduktion: 78%
19	CAU Institut für Geowissenschaften	ICP-Massenspektrometer AGILENT Agilent 8900 QQQ und Agilent 7900 (v)	30,2 m	IST: 11207 nT Soll: 2500 nT Reduktion: 78%
20	CAU Institut für Geowissenschaften	Thermo Isotopenmassenspektrometer 'Delta V plus' und 'Delta V Advantage' (v)	35,9 m	IST: 8234 nT Soll: 2500 nT Reduktion: 70%
23	CAU Institut für Geowissenschaften	Vakuumspektrometer Bruker Vakuumspektrometer Vertex70v (g)	35,9 m	IST: 8234 nT Soll: 700 nT Reduktion: 92%
49	CAU Physikalische Chemie	FT-ICR-MS Bruker APEX-IV Qe (v)	131 m	Ist: 588 nT Soll: 50 nT Reduktion: 92%
50	CAU Physikalische Chemie	FT-ICR-MS Bruker APEX-III (v)	131 m	Ist: 588 nT Soll: 50 nT Reduktion: 92%
53	CAU Physikalische Chemie	"LT-STM ScientaOmicron und weitere (g)"	141 m	Ist: 507 nT Soll: 50 nT Reduktion: 91%

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

54	CAU Physikalische Chemie	(LT-STM)	167 m	Ist: 362 nT Soll: 50 nT Reduktion: 86%
61	CAU Institut für Geowissenschaften	ICP-Massenspektrometer AGILENT Agilent 7900 (v)	79,7 m	IST: 1616 nT Soll: 700 nT Reduktion: 57%
72	CAU Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde	STED Leica (g)	63 m	IST: 2542 nT Soll: 50 nT Reduktion: 98%

Feldkonflikte Cluster Gaarden Ostufer (Ohne Trennung) (Tram)

ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
11	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol NeoArm ((S)TEM)	59 m	Ist: 6747 nT Soll: 12,5 nT Reduktion: 99,8%
12	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	TFS/FEI Tecnai F30 STwin (TEM)	43 m	Ist: 12702 nT Soll: 40 nT Reduktion: 99,7%
13	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Jeol JEM-2100 (TEM)	59 m	Ist: 6747 nT Soll: 50 nT Reduktion: 99,3%
14	CAU Materialwissenschaften/TEM-Zentrum	Zeiss Gemini Ultra55Plus (SEM)	41 m	Ist: 13971 nT Soll: 150 nT Reduktion: 98,9%
15	CAU Materialwissenschaften	TFS/FEI Helios NanoLab Dualbeam (SEM)	43 m	Ist: 12702 nT Soll: 100 nT Reduktion: 99,2%
73	CAU Elektrotechnik und Informationstechnik	Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Hanau, Deutschland Vacoshield Advanced (Magnetische Abschirmkammer)	47 m	IST: 10632 nT Soll: 10 nT Reduktion: 99,9%

Feldkonflikte Cluster Gaarden Ostufer (Mit Trennung) (Tram)

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
11	CAU Materialwissenschaft-ten/TEM-Zentrum	Jeol NeoArm ((S)TEM)	59 m	Ist: 1542 nT Soll: 12,5 nT Reduktion: 99,2%
12	CAU Materialwissenschaft-ten/TEM-Zentrum	TFS/FEI Tecnai F30 STwin (TEM)	43 m	Ist: 2903 nT Soll: 40 nT Reduktion: 98,6%
13	CAU Materialwissenschaft-ten/TEM-Zentrum	Jeol JEM-2100 (TEM)	59 m	Ist: 1542 nT Soll: 50 nT Reduktion: 96,7%
14	CAU Materialwissenschaft-ten/TEM-Zentrum	Zeiss Gemini Ultra55Plus (SEM)	41 m	Ist: 3193 nT Soll: 150 nT Reduktion: 95,3%
15	CAU Materialwissenschaft-ten	TFS/FEI Helios NanoLab Dualbeam (SEM)	43 m	Ist: 2903 nT Soll: 100 nT Reduktion: 96,6%
73	CAU Elektrotechnik und Informationstechnik	Vacuumschmelze GmbH & Co. KG, Hanau, Deutschland Vacoshield Advanced (Magnetische Abschirmkammer)	47 m	IST: 2430 nT Soll: 10 nT Reduktion: 99,6%
Feldkonflikt Cluster Schwentine (Tram)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
k.A	k.A	k.A	k.A	Ist: Soll: k.A Reduktion:
Feldkonflikt Cluster Städtisches Klinikum (Tram)				
ID	Einrichtung	Gerät	Entfernung	EMF/EMV
k.A	k.A	k.A	k.A	Ist: Soll: k.A Reduktion:

Tabelle 10 Liste aller Geräte die im Konflikt mit dem EMF des Tram Betriebes stehen

Die obenstehenden Listen für Tram und BRT sind beide als vorläufig anzusehen, da zum Zeitpunkt des Abgleichs von ca. der Hälfte der relevanten Einrichtungen

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

die Gerätedaten nur unvollständig übermittelt worden sind. Bei der Überprüfung der Einrichtungen wurden auch Geräte durch die CAU benannt, die nach erster Einschätzung sensibel auf die Veränderung der EM-Feldstärke reagieren (und nicht nur auf die absolute Höhe des Feldes) Dieses Thema kann aufgrund seiner Komplexität jetzt noch nicht genauer untersucht und muss später in der Planung behandelt werden.

ID	Einrichtung	Gerät	Anmerkung
4	CAU Organische Chemie	Bruker Avance 600MHz (NMR)	<314nT/s
9	CAU Humanernährung und Lebensmittelkunde	Bruker Elexsys 500 (ESR)	<314nT/s
49	CAU Physikalische Chemie	Bruker APEX-IV Qe (FT-ICR-MS)	k.A.
50	CAU Physikalische Chemie	Bruker APEX-IV Qe (FT-ICR-MS)	k.A.
67	CAU Zoologisches Institut	Hitachi S-4800 (REM)	Horizontal: 310 nT/min Vertikal: 280 nT/min
68	CAU Zoologisches Institut	Hitachi TM-3000 (REM)	Horizontal: 818 nT/min Vertikal: 1045 nT/min

Tabelle 11 Liste aller Geräte die auf Feldveränderungen reagieren

4 Mögliche Gegenmaßnahmen

Um die störungsfreie Funktion eines Gerätes sicherzustellen, kommen sowohl Maßnahmen auf Seiten des Eigentümers sowie Maßnahmen seitens des HÖV-Projektes in Betracht. Grundsätzlich sollte versucht werden, erst einmal die einfach umzusetzenden Maßnahmen auf der Seite der Eigentümer durchzuführen, da das HÖV-System ja erst in rund 10 Jahren realisiert wird und somit viele Geräte, die jetzt aufgenommen wurden, schon durch neue ersetzt wurden. Dabei sollte der HÖV und seine Felderzeugung berücksichtigt werden. Wenn eine Maßnahme seitens des Eigentümers aber nicht möglich ist, dann sollten die Maßnahmen auf Seiten des Verursachers, hier das HÖV-System, betrachtet werden.

Die folgenden Unterkapitel stellen verschiedene Maßnahmen vor, die einzeln oder in Kombination eine Reduktion der EM-Emissionen herbeiführen können, beziehungsweise die störungsfreie Funktion eines betroffenen Gerätes gewährleisten können.

4.1 Mögliche Maßnahmen seitens der Betroffenen

Der Betroffene sollte in Betracht ziehen, das entsprechende Gerät durch beispielsweise eine der folgenden Maßnahmen zu schützen:

- **Gerät verlegen:** Dabei wird erzielt, dass die Distanz zwischen der EMF-Quelle und dem Gerät vergrößert wird. Folglich verringert sich die Feldstärke an der Position des Gerätes und die Störanfälligkeit sinkt. Klassischerweise kann dieser Effekt durch zwei Methoden erzielt werden.
Zum einen kann das Gerät innerhalb eines Gebäudes durch einen Raumwechsel verlegt werden oder das Gerät wird in ein anderes Gebäude verlegt. Abhängig von der Anzahl der betroffenen Geräte innerhalb einer Einrichtung, kann es sinnvoll sein ein neues Gebäude zu errichten (Beispiel Nottingham), welches zum einen außerhalb der gefährdeten Zone ist und zum anderen bereits durch bauliche Maßnahmen einen höheren Schutz gegenüber Einwirkungen aus der Umgebung aufweist.
Eine Maßnahme mit ähnlichem Effekt ist das Verlegen der Trasse. Diese wird im Folgekapitel behandelt.
- **Faraday'scher Käfig (passiv):** Das Errichten eines Faraday'schen Käfigs um das Gerät gehört, sofern sinnvoll anwendbar, zu den einfachsten Lösungen der Problematik und wird immer wieder als mögliche Lösung diskutiert. Deswegen ist sie hier auch mit aufgeführt, aber es wird erläutert, warum sie im Endeffekt nicht hilft. Der Käfig besteht aus einem leitfähigen Material und kann statische elektrische Felder sehr gut abschirmen. Das trifft bedingt auch auf magnetische Felder zu. Die Spannungsunterschiede innerhalb des leitfähigen Materials sorgen für Ströme, die wiederum ein magnetisches Feld induzieren. Dieses hebt in Teilen das magnetische Feld der Tramtrasse auf. Diese Methode ist besonders effektiv bei hochfrequenten Feldern und verliert

ihre Effektivität mit sinkender Frequenz. Die Methode ist nicht wirksam bei magnetischen Gleichstromfeldern, die hier auftreten.

- **Ferromagnetische Materialien (passiv):** Die Methode bewirkt eine „Biegung“ der magnetischen Feldlinien. Dadurch steigt die magnetische Feldstärke innerhalb des Materials an und sinkt beim Austritt wieder. Die Wirkungseffektivität ist dabei abhängig von den Materialeigenschaften. Diese sind unter anderem bei Mu-Metall, Supra 50 und Supra 36 besonders gut geeignet, um das Gerät effektiv gegen EMF abzuschirmen. In Delft (Niederlande) wurde diese Maßnahme bei einem vergleichbaren Projekt in Erwägung gezogen. Auf Grund der hohen Kosten und dem geringen Effekt wurde diese Maßnahme letztendlich nicht umgesetzt.
- **Installation von Spulen (aktiv):** Bei dieser Maßnahme werden um das betroffene Gerät Spulen platziert, die bei dessen Verwendung ein magnetisches Feld erzeugen. Dieses Feld hebt das der Tram auf. Das Problem dieser Methode ist, dass die Spulen wiederum einen negativen Einfluss auf andere Geräte haben und diese in deren Funktionsweise behindern. Die Methode funktioniert somit nur dann, wenn das betroffene Gerät das einzige in seiner Umgebung ist und keine weiteren Geräte durch den Betrieb der Spule gestört werden können.

4.2 Mögliche Maßnahmen seitens des Projekts

Sofern keine Lösung des Problems auf der Seite des Betroffenen erzielt werden konnte, gilt es zu klären, welche Schritte unternommen werden können, um den störungsfreien Betrieb eines betroffenen Gerätes weiterhin zu gewährleisten. In der Vergangenheit wurden dabei die folgenden Maßnahmen bei vergleichbaren Projekten in Erwägung gezogen:

- **Trasse verlegen:** Dabei wird erzielt, dass die Distanz zwischen der EMF-Quelle und dem Gerät vergrößert wird. Folglich verringert sich die Feldstärke an der Position des Gerätes und die Störanfälligkeit sinkt. Diese Maßnahme ist wohl die aufwändigste und birgt die Gefahr, dass durch eine Verlegung andere Geräte von der EMV Thematik betroffen werden. Sie ist daher grundsätzlich schwierig umzusetzen. In Utrecht wurde diese Lösung im Bereich der Universität angewendet, die Trasse wurde um bis zu 20 m weiter weg von sensitiven Geräten des Krebsforschungszentrums errichtet als ursprünglich geplant.
- **Erhöhung der Netzspannung:** Moderne Fahrzeuge funktionieren anhand elektrischer Energie und weniger auf Basis eines Stroms. Erhöht man die Netzspannung, so sinkt die EMF-Emission des Fahrzeuges. Diese Methode wird auch im herkömmlichen Bahnverkehr angewandt. Die Methode ist sehr effektiv, um das magnetische Feld zu schwächen, birgt jedoch andere Gefahren. Eine Erhöhung der Netzspannung erhöht auch das elektrische Gefahrenpotential etwas. Beispielweise ist der Sicherheitsabstand zu einer 750 V Leitung etwas geringer als der zu einer 1500 V Leitung, teilweise sind Bauteile nach anderen Normen auszulegen. Dies betrifft sowohl die Infrastruktur als

auch die Fahrzeuge. Auch Menschen sind im Falle einer nicht isolierten Leitung bei einer Annäherung auf Grund der Gefahr eines Spannungsüberschlags durch einen Lichtbogen in Lebensgefahr. Diese Methode ist somit für den Einsatzbereich einer innerstädtischen Trasse grundsätzlich denkbar, kommt aber in der Realität in Deutschland bisher in keinem einzigen System zum Einsatz.

- **Reduzierung der Fahrdynamik:** Eine reduzierte Fahrdynamik bedeutet einen geringeren Energiebedarf des Fahrzeuges. Daraus resultieren geringere EMF, jedoch auch starke Einschränkungen im Betriebsablauf. Durch geringere Energiezufuhr kann weniger schnell beschleunigt werden was einen Einfluss auf Taktung und wiederum auf die Beförderungsleistung des ÖPNV Systems hat. Eine reduzierte Betriebsleistung kann auch beispielsweise durch die temporäre Abschaltung der Klimaanlage oder anderer Nebenverbraucher erzielt werden. Solche Maßnahmen machen den ÖPNV jedoch weniger attraktiv und sind daher genau zu prüfen. Diese Lösung hätte in Heidelberg, Neuenheimer Feld, teilweise zum Einsatz kommen sollen (Strecke wurde nicht realisiert).
- **Verkürzte Entfernung der Unterwerke:** Diese Maßnahme bedeutet, dass mehr, möglicherweise kleinere, Unterwerke entlang der Strecke errichtet werden können. Dies hätte wiederum zur Folge, dass ein Unterwerk weniger Fahrzeuge gleichzeitig in kürzeren Oberleitungsabschnitten versorgt und somit die erzeugten Felder geringer sind. Diese Methode hat in anderen Projekten bereits zu einer Reduzierung von 30 % des EMF geführt. Der Erfolg der Maßnahme ist jedoch stark abhängig von der Abschnittslänge und der Anzahl an Fahrzeugen zwischen zwei Unterwerken. Diese Maßnahme wurde beispielweise in Ulm realisiert.
- **Kompensierung (passiv):** Bei dieser Maßnahme wird zusätzlich zu der Oberleitung noch ein weiterer Leiter verlegt. Dieses Kabel befindet sich unter dem Gleis und leitet den Strom mit weniger Widerstand zurück zum Unterwerk. Dadurch wird erreicht, dass ein Großteil des durch die Speiseleitung (Fahrleitung und Speisekabel) induzierten Feldes durch das Feld des Rückleiters (Fahrschiene) aufgehoben wird, da beide in räumlicher Nähe liegen. Dadurch ist die gesamte EMF Emission geringer. Dieses System bedarf der Installation eines Verbindungskabels zwischen der Zuleitung und dem Fahrdraht zwischen jedem Oberleitungsmast. Je geringer deren Abstand ist, desto höher die EMF Reduktion. In anderen Projekten konnte durch dieses System eine Reduktion von bis zu 60 % der ursprünglichen Feldstärke erzielt werden. Diese Lösung wurde z.B. in Ulm realisiert.
- **Sektionierung (passiv):** Hierbei wird die Oberleitung an jedem Oberleitungsmast unterbrochen und isoliert. Jede dieser Sektionen wird separat von einer Zuleitung im Boden gespeist. Somit fließt in einem Abschnitt nur dann Strom, wenn sich der Stromabnehmer des Fahrzeuges in diesem befindet. Auch hier gilt: Je geringer der Oberleitungsmastabstand, desto höher der Effekt. Diese Maßnahme wurde unter anderem in Delft, Utrecht und Lund implementiert und führte zu einer Reduktion von 75 bis 90 % der

Emissionen. Eine Untersuchung hat gezeigt, dass bei der passiven Sektionierung das Verhältnis von Nutzen zu Kosten dann wirtschaftlich ist, wenn wirklich hohe Reduktionsraten erreicht werden müssen.

- **Sektionierung (aktiv):** Die aktive Sektionierung gleicht weitestgehend der passiven Sektionierung. Zusätzlich zu den isolierten Abschnitten wird hier noch ein Leiter auf Höhe der Oberleitung mit einem zweiten Kreislauf installiert. Dieser fließt mit der gleichen Stromstärke in die entgegengesetzte Flussrichtung der Oberleitung und wird ebenfalls durch die Gleise abgeleitet. Dadurch hebt sich das B Feld der Oberleitung fast vollständig auf und das B Feld der Gleise wird vollständig aufgehoben. Mit dieser Maßnahme können Emissionsreduktionen von 96 bis 99 % erzielt werden. Diese Maßnahme ist bisher noch nirgendwo realisiert worden und sehr teuer, sie würde auch eine Umkonstruktion von Fahrzeugen nach sich ziehen, da die Stromrückführung nicht mehr über die Schiene erfolgen würde.
- **Optimierte Kabelführung in den Fahrzeugen:** Neben der Infrastruktur sind auch die Tramfahrzeuge Erzeuger von EMF-Emissionen. Um diese zu minimieren kann die Kabelführung innerhalb der Fahrzeuge angepasst werden. Ausschlaggebend für die Emission sind die Kabel, die den Fahrstrom über den Inverter zum Drehgestell leiten. Standardmäßig sind diese so verlegt, dass vom mittig liegenden Stromabnehmer die Kabel beidseitig zum Ende der Bahn in die beiden Inverter laufen und von dort senkrecht nach unten zu den Drehgestellen. Optimiert man den Aufbau, so verlaufen die Kabel vom mittig liegenden Abnehmer zu den beidseitigen Invertern und wieder zurück in die Mitte, um dann zusammen das mittig liegende Drehgestell zu speisen. Diese Methode kann in Kombination mit Maßnahmen an der Oberleitung und den Gleisen eine Reduktion der EM-Emission von bis zu 30 % herbeiführen. Problematisch dabei ist, dass die „Standard-Fahrzeuge“ der Hersteller in der Realität wenig flexibel für solche Anpassungen sind.
- **Energiespeicher:** Möchte man die Installation einer Oberleitung auf Grund des Trassenumfeldes vermeiden, so kann auf die Verwendung von fahrzeugseitigen Energiespeichern zurückgegriffen werden. Diese Methode der Energiezufuhr erzeugt nur noch ein sehr kleines elektromagnetisches Feld. Die Reduktion des EM-Feldes beträgt 97 bis 100 %. Die Nachteile dieser Maßnahme sind die hohen Investitionskosten und das zusätzliche Gewicht sowie der Wartungsaufwand, da dann alle Fahrzeuge mit diesen Energiespeichern ausgerüstet werden müssen. In Birmingham wurde diese Maßnahme umgesetzt (wenn auch nicht aus EMV-Gründen).

4.3 Mögliche Kombination verschiedener Maßnahmen

Kombination verschiedener Maßnahmen: Viele der oben genannten Maßnahmen können kombiniert werden, um eine optimale EMF-Reduktion zu erzielen. In der folgenden Abbildung sind einzelne, technisch mögliche sowie sinnvolle, Kombinationen verschiedener Maßnahmen vorgestellt. Die konkrete Anwendung der einzelnen Maßnahmen beziehungsweise ihrer Kombinationen, ist sehr stark von anderen Faktoren abhängig. Daher ist es nicht möglich eine pauschale

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Systemempfehlung zu formulieren. Optimierungen müssen für jeden Abschnitt individuell gestaltet werden.

		Maßnahme 2										
		Abstand vergrößern	Abschirmung (passiv)	Abschirmung (aktiv)	Netzspannung erhöhen	Betriebsleistung erhöhen	Verk. Entf. d. Umspannwerken	Kompensierung (passiv)	Sektionierung (passiv)	Sektionierung (aktiv)	Optimierte Kabelführung	Energiespeicher
Maßnahme 1	Abstand vergrößern											
	Abschirmung (passiv)	☺										
	Abschirmung (aktiv)	☺										
	Netzspannung erhöhen	☺	☺	☺								
	Betriebsleistung erhöhen	☺	☺	☺	☺							
	Verk. Entf. d. Umspannwerken	☺	☺	☺	☺	☺						
	Kompensierung (passiv)	☺	☺	☺	☺	☺	☺					
	Sektionierung (passiv)	☺	☺	☺	☺	☺	☺					
	Sektionierung (aktiv)	☺	☺	☺	☺	☺	☺		☺			
	Optimierte Kabelführung							☺	☺			
	Energiespeicher	☺	☺	☺							☺	

Abbildung 14 Kombination verschiedener Maßnahmen

5 Schlussfolgerung und weitere Schritte

5.1 Tram

Der Abgleich der Geräte in den erhobenen Einrichtungen mit den berechneten EM-Feldern zeigt, dass vielerorts eine Reduktion von mehr als 90 % notwendig ist, um einen störungsfreien Betrieb der vorhandenen und geplanten Geräte zu gewährleisten. Eine Reduktion in dieser Höhe kann nur durch wenige Maßnahmen erzielt werden. Zum einen können Teile der Trasse ohne stromführende Oberleitung geplant werden was zur Folge hätte, dass in diesen Sektionen kein EM-Feld induziert wird. Zum anderen könnte mithilfe passiver Sektionierung das Feld stark reduziert werden. Nur theoretisch möglich wäre wahrscheinlich eine räumliche Verlagerung von Trasse oder Geräten. Die Lokalisierung von Geräten, insbesondere an der CAU, sollte aber in der Vorplanung an 2023 noch intensiv diskutiert werden, da dies oft die einfachste Maßnahme ist. Die CAU hat in den Gesprächen während der Trassenstudie bereits zurückgemeldet, dass sie kaum Möglichkeit sieht, Geräte an andere Orte zu verlagern.

Die Auswertung hat gezeigt, dass sich die empfindlichen Geräte in verschiedenen geographischen Clustern befinden. Diese können zwar unterschiedlich behandelt werden, grundsätzlich sind jedoch Reduktionen von 89,9 bis 99,9 % notwendig. Im Vergleich zu vielen anderen in den letzten Jahren realisierten Tramsystemen sind diese notwendigen Reduktionen in Kiel sehr hoch, da die angegebenen Immunitätslevel der CAU sehr niedrig sind und die betroffenen Geräte sehr nahe an der HÖV-Trasse liegen.

5.1.1 Cluster CAU Nord und Süd: Bereich der nördlichen und südlichen Olshausenstraße

Die notwendigen Feldreduzierungen sind mit über 99 % sehr hoch und können praktisch nur durch stromlose Abschnitte (bzw. Weglassen der Oberleitung) erreicht werden. Durch Verschiebung des Unterwerks GUW_N2 um 700 m kann ein stromloser Abschnitt von diesem Unterwerk bis zur Haltestelle zum Bereich Westring der Länge ca. 2,2 km erstellt werden (Siehe Abbildung 15 in Kapitel 5.3). Es ist nicht notwendigerweise die gesamte Oberleitung wegzulassen, das sollte nur von Haltestelle zu Haltestelle geschehen, da die Fahrzeuge dann dort im Stand den Stromabnehmer senken bzw. wieder anlegen können.

Dieser Vorschlag ist vorläufig und muss aber durch weitere Planungsschritte ab Vorplanung vertieft werden, auch sind mit der CAU fehlende Geräte noch aufzunehmen bzw. es ist zu diskutieren, was auf CAU-Seite gemacht werden kann, um die Situation zu entschärfen. Die CAU hat in den Gesprächen während der Trassenstudie bereits zurückgemeldet, dass sie kaum Möglichkeit sieht, Geräte an andere Orte zu verlagern.

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensitiver Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

5.1.2 Cluster Gaarden Ostufer: Bereich um die technische Fakultät der CAU

In jedem Fall empfiehlt es sich an der Ecke Karlstor/ Elisabethstr. eine elektrische Trennung der Oberleitung durchzuführen. Das hätte zur Folge, dass das EM-Feld in dieser Sektion wesentlich verringert werden kann, da sich die Anzahl der verkehrenden Fahrzeuge in dem kritischen elektrischen Abschnitt reduziert. Diese Maßnahme wurde schon unterstellt (siehe Feldberechnungen in Abschnitt 3.4.3).

Trotzdem sind die EM-Felder noch deutlich zu hoch und bedürfen einer Reduktion um bis zu 99,6 %. Die einzige mögliche Gegenmaßnahme wäre auch hier ein stromloser Abschnitt, wie auf dem Westufer an der CAU. Dieser kann die gesamte Elisabethstraße mit beinhalten, was auch aus städtebaulichen Gründen eine interessante Option darstellt, und muss dann entlang der Werftstraße bis zur Haltestelle an der Franziusallee führen. Dieser Abschnitt weist eine Länge von ca. 1,5 km auf. Siehe Abbildung 15 in Kapitel 5.3.

Dieser Vorschlag ist vorläufig und muss aber durch weitere Planungsschritte ab Vorplanung vertieft werden, auch sind mit der CAU fehlende Geräte noch aufzunehmen bzw. es ist zu diskutieren, was auf CAU-Seite gemacht werden kann, um die Situation zu entschärfen. Bisherige Diskussionen haben aber bereits gezeigt, dass hier wenig Spielraum besteht, da alle CAU-Gebäude in diesem Bereich nahe an der Trasse liegen (anders als auf dem Westufer). Die CAU hat in den Gesprächen während der Trassenstudie bereits zurückgemeldet, dass sie kaum Möglichkeit sieht, Geräte an andere Orte zu verlagern.

5.1.3 Cluster Schwentine: Bereich um die Schmerzklinik (k.A.)

Für den Bereich der Schmerzklinik liegen noch keine genauen Daten über die Sensitivität von Geräten vor. Diese wurden von dem Betreiber der Schmerzklinik noch nicht angegeben.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass ggf. auch hier Reduktionen der Feldstärken notwendig werden. Das Vorgehen muss durch weitere Planungsschritte ab Vorplanung vertieft werden.

5.1.4 Cluster Städt. Krankenhaus: Bereich um das Städtische Krankenhaus (k.A.)

Für den Bereich des städtischen Krankenhauses liegen noch keine genauen Daten über die Sensitivität von Geräten vor. Diese wurden von dem Betreiber des Krankenhauses noch nicht angegeben.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass ggf. auch hier Reduktionen der Feldstärken notwendig werden. Das Vorgehen muss durch weitere Planungsschritte ab Vorplanung vertieft werden.

5.1.5 Berücksichtigung in der Kostenschätzung

Für die vier Cluster wird folgendes zur Berücksichtigung in der Kostenschätzung (Dokumentation zum AP E-190) der Trassenstudie vorgeschlagen:

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

- Cluster CAU Nord und Süd: Oberleitungsfreier Abschnitt auf einer Länge von 2,2 km.
- Cluster Gaarden Ostufer: Oberleitungsfreier Abschnitt auf einer Länge von 1,5 km.
- Cluster Schwentine und Städtisches Krankenhaus: Unbekannt, Maßnahme noch nicht zu beziffern.
- Ausrüstung aller Fahrzeuge mit Energiespeichern (Größe durch Berechnungen in Dokumentation zum AP E-111).

Diese Abschätzungen müssen aber durch weitere Planungsschritte ab der Vorplanung vertieft und verifiziert werden.

5.2 BRT

Das folgende Kapitel zu dem Ergebnis der EMV-Kompatibilität eines BRT Betriebes gleicht größtenteils dem vorherigen zur EMV-Kompatibilität eines Tram Betriebes, einzig die Maßnahmen im Cluster CAU Nord weichen stark von den Tram Ergebnissen ab.

Der Abgleich der Geräte in den erhobenen Einrichtungen mit den berechneten EM-Feldern zeigt, dass vielerorts eine Reduktion von mehr als 90 % notwendig ist, um einen störungsfreien Betrieb der vorhandenen und geplanten Geräte zu gewährleisten. Eine Reduktion in dieser Höhe kann nur durch wenige Maßnahmen erzielt werden. Zum einen können Teile der Trasse ohne stromführende Oberleitung geplant werden was zur Folge hätte, dass in diesen Sektionen kein EM-Feld induziert wird.

Die Auswertung hat gezeigt, dass sich die empfindlichen Geräte in verschiedenen geographischen Clustern befinden. Diese können zwar unterschiedlich behandelt werden, grundsätzlich sind jedoch Reduktionen von 45 bis 99,6 % notwendig.

5.2.1 Cluster CAU Nord und Süd: Bereich der nördlichen und südlichen Olshausenstraße

Die notwendigen Feldreduzierungen sind mit bis zu 45 % im Bereich CAU Nord nicht sehr hoch, es kommen hier sehr viel mehr Methoden zur Feldreduktion in Frage, welche ausführlich in Abschnitt 4 behandelt wurden. Im Bereich CAU Süd liegt die notwendige Reduktion aber mit bis zu 99% im sehr hohen Bereich. Am einfachsten ist es deswegen die geplante Oberleitung analog der Tram erst in dem Bereich der Mangoldstraße beginnen zu lassen. Diese Verlängerung des ohnehin geplanten oberleitungsfreien Bereichs ist technisch machbar, recht einfach umsetzbar und in der Abbildung 11 dargestellt.

5.2.2 Cluster Gaarden Ostufer: Bereich um die technische Fakultät der CAU

Die EM-Felder sind deutlich zu hoch und bedürfen einer Reduktion um bis zu 99 %. Die einzige mögliche Gegenmaßnahme wäre hier auch die Verlängerung des stromlosen Abschnitts, wie auf dem Westufer an der CAU. Dieser sollte entlang

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

der Werfstraße bis zur Haltestelle im Bereich Franziusallee verlagert werden, siehe Abbildung 16.

Dieser Vorschlag ist vorläufig und muss aber durch weitere Planungsschritte ab der Vorplanung vertieft werden.

5.2.3 Cluster Schwentine: Bereich um die Schmerzlinik (k.A.)

Für den Bereich der Schmerzlinik liegen noch keine genauen Daten über die Sensitivität von Geräten vor. Diese wurden von dem Betreiber der Schmerzlinik noch nicht angegeben.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass ggf. auch hier Reduktionen der Feldstärken notwendig werden. Das Vorgehen muss durch weitere Planungsschritte ab Vorplanung vertieft werden.

5.2.4 Cluster Städtisches Klinikum: Gelände des Städtischen Klinikums (k.A.)

Für den Bereich der Städtisches Klinikum liegen noch keine genauen Daten über die Sensitivität von Geräten vor. Diese wurden von dem Betreiber des Klinikums noch nicht vollständig angegeben.

Gemäß den aktuellen Planungen verkehrt das BRT-System in diesem Bereich ohne Oberleitung, es wären also keine weiteren Maßnahmen notwendig.

5.2.5 Berücksichtigung in der Kostenschätzung

Für die vier Cluster wird folgendes zur Berücksichtigung in der Trassenstudie vorgeschlagen:

- Cluster CAU Nord und Süd: Verlängerung des oberleitungsfreien Abschnitts um ca. 800 m
- Cluster Gaarden Ostufer: Verlängerung des oberleitungsfreien Abschnitts um ca. 600 m
- Cluster Schwentine Unbekannt, Maßnahme noch nicht zu beziffern.
- Cluster Städtisches Klinikum: Keine Maßnahme notwendig

Diese Abschätzungen müssen aber durch weitere Planungsschritte ab der Vorplanung vertieft werden.

5.3 Schlussfolgerung Oberleitung

Auf Basis der vorherigen Kapitel wurden Änderungen an der Oberleitungsplanung vorgenommen. Diese gestalten sich für die beiden Betriebsarten unterschiedlich und sind in den beiden folgenden Abbildungen für Tram und BRT dargestellt.

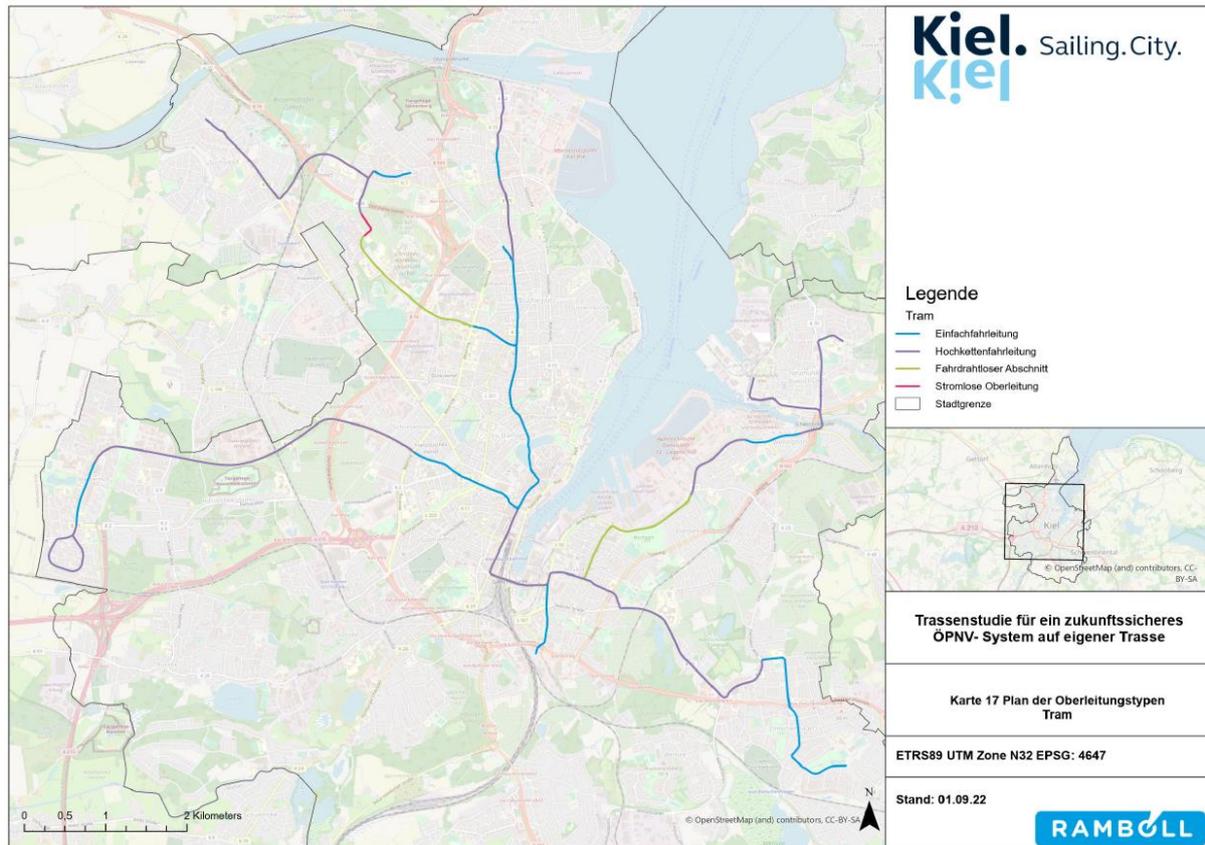


Abbildung 15 Plan der Oberleitungstypen Tram unter Berücksichtigung EMF in Bereichen mit sensiblen Geräten

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

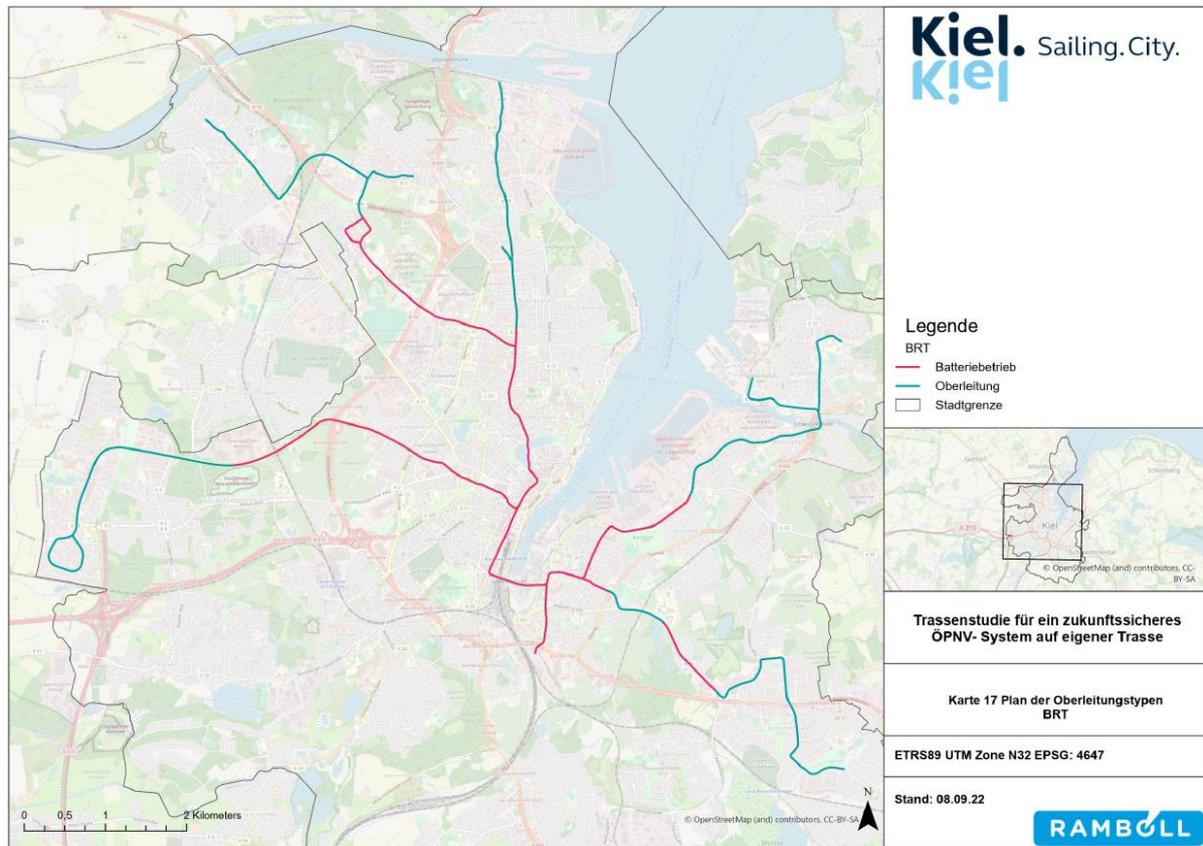


Abbildung 16 Plan der Oberleitung BRT unter Berücksichtigung EMV in Bereichen mit sensitiven Geräten

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
Abschichtung	Mit Hilfe des Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahrens (FAR-Verfahren) wurden alle sinnvoll wirtschaftlich, technisch und nachfrageseitig machbaren Streckenabschnitte für Tram oder BRT von ca. 128 km Streckenlänge auf das Kernnetz von 35,4 km abgeschichtet.
Abschnitt	Strecken können aus verschiedenen Abschnitten bestehen
Bahnkörper	Fahrweg für Tram Kann als unabhängiger (völlig getrennt vom übrigen Verkehr), besonderer (im Verkehrsraum öffentlicher Straßen, jedoch durch bauliche Maßnahmen wie z. B. Bordsteine, Hecken oder Baumreihen vom übrigen Verkehr getrennt) oder straßenbündiger (Nutzung des Verkehrsraums anderer Verkehrsteilnehmer wie Fahrbahn oder Fußgängerzone) Bahnkörper ausgebildet sein.
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BOKraft	Verordnung über den Betrieb von Kraftfahrunternehmen im Personenverkehr
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
BRT	Bus-Rapid-Transit Fahrbahngebundenes hochwertiges ÖPNV-System auf überwiegend eigener Trasse, in dem meist Doppelgelenkbusse als Fahrzeuge eingesetzt werden
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Design Freeze	Übergabeversion aller relevanten Planunterlagen, an die andere Arbeitspakete wie die Variantenuntersuchung

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
	und die Kostenschätzung anknüpfen, und die in Teilen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. In der Trassenstudie gibt es insgesamt drei Design Freezes, die unter Berücksichtigung aller internen und externen Rückmeldungen iterativ aufeinander aufbauen.
DIN	Deutsches Institut für Normung
DFI	Dynamische Fahrgastinformation, Anzeige an den Haltestellen
EAÖ	Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehr
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EMF	Elektromagnetisches Feld
ETCS	European Train Control System
FAR-Verfahren	Formalisiertes Abwägungs- und Rangordnungsverfahren der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Gesamtszenario	In einem Netz sinnvoll zusammengesetzte (Teil-) Varianten
GIS	Geographisches Informationssystem
GUW	Gleichrichter-Unterwerk für die Stromversorgung Tram oder BRT
GVFG	Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz; Fördermöglichkeiten des Bundes für schienengebundene Verkehrswege (und Seilbahnen)
Hauptroute Radverkehr	2.000-4.000 Radfahrende/24h
HBF	Hauptbahnhof
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

Dokumentation AP E-162
Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen
Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
HÖV	Hochwertiges Öffentliches Personennahverkehrssystem
HVZ	Hauptverkehrszeit
Inbetriebnahmestufe	Das Kernnetz besteht aus verschiedenen Inbetriebnahmestufen, welche zeitlich versetzt realisiert werden
Kernnetz	Alle nach Anwendung des FAR-Verfahrens am Ende der Trassenstudie übrig gebliebenen Strecken der Tram / des BRT inkl. der Betriebshofstrecke zusammengesetzt zu einem Netz
Korridor	Ein grob abgegrenzter geographischer Raum zwischen der Innenstadt und einem peripheren Stadtteil, der eine oder mehrere Strecken beinhaltet
KVG	Kieler Verkehrsgesellschaft mbH
Laststufe	Die Laststufen nach den Technischen Regeln Bremse der BOStrab bezeichnen verschiedene Beladungszustände, Laststufe I ist die geringste, III, die Höchste
LEA	Landeseisenbahnaufsicht
LH	Landeshauptstadt
Linie	Betriebliche HÖV-Bedienung (Tram oder BRT) einer oder mehrerer Strecken des Kernnetzes
LSA	Lichtsignalanlage
Mitfall	Realisierung der geplanten Maßnahmen im HÖV, Tram oder BRT (Bestandteil der Standardisierten Bewertung)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
KielRegion Modell	VISUM-Verkehrsmodell der KielRegion (siehe auch VISUM)
Netzhierarchie	Die Netzhierarchie trennt das zukünftige in die Hauptkorridore, welche durch den Hochwertigen Öffentlichen Verkehr (Tram oder BRT) bedient werden und das nachgeordnete Busnetz von nachfragestarken Hauptbuslinien und allen weiteren Buslinien.
NKU	Nutzen-Kosten-Untersuchung

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
	<p>Instrument zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Verkehrsprojekten</p> <p>Eine NKU nach dem Verfahren der Standardisierten Bewertung mit positivem Ausgang ist Grundlage zur Beantragung von Bundesfördermitteln für eine Maßnahme des öffentlichen bzw. Schienenpersonennahverkehrs gemäß GVFG</p>
NKU-Fälle	<p>Verschiedene Gesamtszenarien, die in der NKU (Nutzen-Kosten-Untersuchung) der Trassenstudie (vereinfachte Standardisierte Bewertung) betrachtet werden (Ist-, Ohne- und Mitfälle)</p>
NVZ	<p>Nebenverkehrszeit</p>
OB.M	<p>Stabsstelle Mobilität der Landeshauptstadt Kiel</p>
ÖDA	<p>Öffentlichen Dienstleistungsauftrags</p>
Ohnefall	<p>Der Ohnefall ist ein Bestandteil der Standardisierten Bewertung. Er stellt einen die Weiterentwicklung des Ist-Zustandes im öffentlichen Verkehr dar, falls das HÖV-System (Tram oder BRT) nicht eingeführt wird. Der Ohnefall muss realistisch und umsetzbar sein, eine formale Grundlage besitzen (z.B. Bestandteil eines Nahverkehrsplans sein) und mit dem Zuwendungsgeber abgestimmt werden.</p> <p>Der Ohnefall wird in der Standardisierten Bewertung mit dem Mitfall (Tram- und BRT-System) verglichen.</p>
ÖPNV	<p>Öffentlicher Personennahverkehr</p>
Paarvergleich	<p>Mit Hilfe des Formalisierten Abwägungs- und Rangordnungsverfahrens (FAR-Verfahren) wurden sich gegenseitig ausschließende Abschnitts- bzw. Streckenvarianten innerhalb eines Korridors in einem Paarvergleich bewertet zur Identifizierung von Vorzugsabschnitten bzw. -strecken und im Rahmen der Abwägung zur Abschichtung und Reduzierung von nicht aussichtsreichen Varianten</p>
PBefG	<p>Personenbeförderungsgesetz</p>

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
PPP	PPP (In Englisch: Private Public Partnership) bezeichnet die gemeinsame vertraglich geregelte Projektabwicklung von öffentlichen und privaten Partnern. In Deutschland wird dafür auch der Begriff ÖPP, Öffentlich-Private-Partnerschaft, genutzt.
Premiumrouten Radverkehr	> 4.000 Radfahrende/24h
Radius/Radien	Das Hochwertige Öffentliche Personennahverkehrssystem (HÖV) kann nur bestimmte Mindestradien in Kurven bedienen. Diese sind bei der Infrastrukturplanung beachtet worden.
RASt	Richtlinien für Anlagen von Stadtstraßen
Regiotram	Schienengebundenes Verkehrssystem, welches das städtische Tramnetz in der Stadt Kiel mit dem Eisenbahnnetz in der Region über Anschlussstrecken umsteigefrei verbindet (bisher StadtRegionalBahn, SRB)
RiLSA	Richtlinien für Signalanlagen
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
Standardisierte Bewertung	Bundeseinheitliches Verfahren zur gesamtwirtschaftlichen Nutzen-Kosten-Untersuchung von ÖPNV-Projekten in Deutschland
Strecke	Eine eindeutige Verbindung zwischen zwei Punkten, die aus verschiedenen Abschnitten bestehen kann
Streckennetz	Alle Strecken der Tram / des BRTs zusammengesetzt zu einem Netz
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SVZ	Schwachverkehrszeit
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TAB	Technische Aufsichtsbehörde
Teilszenario	In einem Korridor sinnvoll zusammengesetzte (Teil-)Varianten
TÖB	Träger öffentlicher Belange

Dokumentation AP E-162

Elektromagnetische Verträglichkeit sensibler Installationen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Abkürzung / Fachbegriffe	Erklärung / Beschreibung
Tram	Schienengebundenes hochwertiges ÖPNV-System auf eigener Trasse
Trassenstudie	Technische Studie mit vertiefter Infrastruktur- und Gesamtsystemplanung
Trassierung	Entwerfen und Festlegen der Linienführung ("Trasse") eines Verkehrsweges (Straßen, Bahnstrecken) in Lage, Höhe und Querschnitt
TRStrab Spurführung (TR Sp)	Technische Regeln für die Spurführung von Schienenbahnen nach der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab)
TRStrab Trassierung	Technische Regeln für Straßenbahnen – Trassierung von Bahnen
TSI-PRM	Technische Spezifikation der Eisenbahn-Interoperabilität – Personen mit eingeschränkter Mobilität (Technical Specifications for Interoperability – People with reduced mobility)
UIC	Internationaler Verband der Eisenbahnen (International Union of Railways)
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
Varianten	Verschiedene Strecken(-abschnitte), welche sich im Kernnetz gegenseitig ausschließen
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
Zeitinsel	Eine Zeitinsel bezeichnet einen bestimmten Zeitraum, welcher durch Kurse des Hochwertigen Öffentlichen Personennahverkehrssystems eingehalten werden muss, um den Takt einzuhalten (wenn sich z.B. 2 Linien verzweigen oder viele Linien auf einem Abschnitt verkehren)
Zu- und Abgangszeit	Weg vom Startpunkt zur Haltestelle bzw. von der Haltestelle zum Zielpunkt

Anmerkung: Stand 10.10.2022