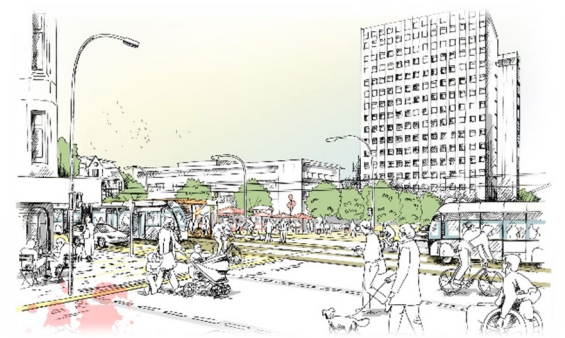


# Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

## Dokumentation Arbeitspaket E-161

### Elektrische Anlagen



**Dokumentation AP E-161**

**Elektrische Anlagen**

**Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse**

---



Bearbeiter: Steffen Plogstert, Gerhard Will

Qualitätssicherung Ramboll: Nils Jänig, Ann-Kathrin Kuppe

Datum: 15.09.2022

Ramboll Deutschland GmbH

Zur Gießerei 19-27

76227 Karlsruhe

<https://de.ramboll.com>

[info@ramboll.com](mailto:info@ramboll.com)

---

## Gliederung

<b>Projekteinordnung .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Grundlagen der Energieversorgung .....</b>	<b>13</b>
2.1 Tram und BRT: Verknüpfung zu anderen Arbeitspaketen .....	13
2.2 Nur BRT: Vergleich Gelegenheitsladung versus partielle Oberleitung .....	13
2.3 Tram und BRT: Vergleich Wasserstoff und 750 V Oberleitung.....	15
2.4 Elektrische Anlagen im Depot und Abstellanlagen .....	16
2.5 Allgemeine Ausgestaltung der Energieversorgungsanlage .....	17
<b>3 Oberleitungstypen .....</b>	<b>20</b>
3.1 Tram .....	20
3.1.1 Einfachfahrleitung mit Seilgleiter und Nachspannung .....	20
3.1.2 Hochkettenoberleitung .....	25
3.1.3 Übersicht – Fahrleitungsarten Tramnetz .....	29
3.2 BRT .....	30
3.2.1 Elektrifizierte Abschnitte .....	32
<b>4 Grundsätze der Energieversorgungsanlagen .....</b>	<b>37</b>
4.1 Positionierung Unterwerke .....	37
<b>5 Kostenabschätzung .....</b>	<b>44</b>
5.1 Oberleitungsanlagen .....	45
5.2 Energieversorgungsanlagen .....	45
5.3 50-HZ-Anlagen .....	45
<b>Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>47</b>

---

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Zeitliche Einordnung Trassenstudie .....	6
Abbildung 2 Projektziele .....	8
Abbildung 3 Prinzipskizze Fahrstromversorgung von Gleichstromanlagen, Quelle: VDV Schrift 507 .....	18
Abbildung 4 Trolleybus-Oberleitung im Verzweigungsbereich (Beispiel Salzburg) .....	19
Abbildung 5 Schema Einfachfahrleitung mit Seilgleiter .....	21
Abbildung 6 Zusätzliches Parallelkabel bei Einfachfahrleitung (Beispiel Bern, Quelle: Furrer & Frey) .....	22
Abbildung 7 Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Mittelmast, hier mit doppelter Fahrleitung (Beispiel Aarhus).....	22
Abbildung 8 Einfachfahrleitung, Seitenmast mit Ausleger (Beispiel Madrid) .....	23
Abbildung 9 Einfachfahrleitung, Seitenmast und Doppelausleger (Beispiel Nottingham) .....	24
Abbildung 10 Einfachfahrleitung mit Querverspannung (Beispiel Freiburg im Breisgau) .....	25
Abbildung 11 Schema Hochketten-Oberleitung.....	26
Abbildung 12 Hochkette mit Mittelmast (Beispiel Freiburg im Breisgau) .....	26
Abbildung 13 Hochkette mit Seitenmast (Beispiel Karlsruhe).....	27
Abbildung 14 Hochkette mit Doppelausleger (Beispiel RNV, Mannheim/Heidelberg) .....	27
Abbildung 15 Hochkette mit Querverspannung (Beispiel Karlsruhe).....	28
Abbildung 16 Tram Abschnitte mit Hochketten- bzw. Einfachfahrleitung (unter Berücksichtigung von EMV-Anforderungen) .....	30
Abbildung 17 Trolleybus-Einfachfahrleitung mit Querverspannung und Wandankern (Beispiel Bern) .....	31
Abbildung 18 Trolleybus-Einfachfahrleitung im Bogenbereich (Quelle: Wikipedia) .....	31
Abbildung 19 Fahrdrahtkreuzungen (Beispiel Salzburg) .....	32
Abbildung 20 BRT-Streckenabschnitte mit Oberleitung (unter Berücksichtigung von EMV-Anforderungen) .....	34
Abbildung 21 Ergebnisse der Simulation Energieverbrauch BRT .....	35
Abbildung 22 Position Gleichrichterunterwerke (GUW) Tram .....	39
Abbildung 23 Position Gleichrichterunterwerke (GUW) Tram bei Berücksichtigung stromloser Abschnitte .....	40
Abbildung 24 Position Gleichrichterunterwerke (GUW) BRT (50km-Netz).....	43

---

Abbildung 25 10 kV-Mittelspannungsnetz der Stadtwerke Kiel im Zusammenhang mit dem 50 km-Netz Stufe 1B .....	44
--	----

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 Gleichrichterunterwerke Tram und BRT .....	42
--	----

## 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 E-161 Elektrische Anlagen. 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:

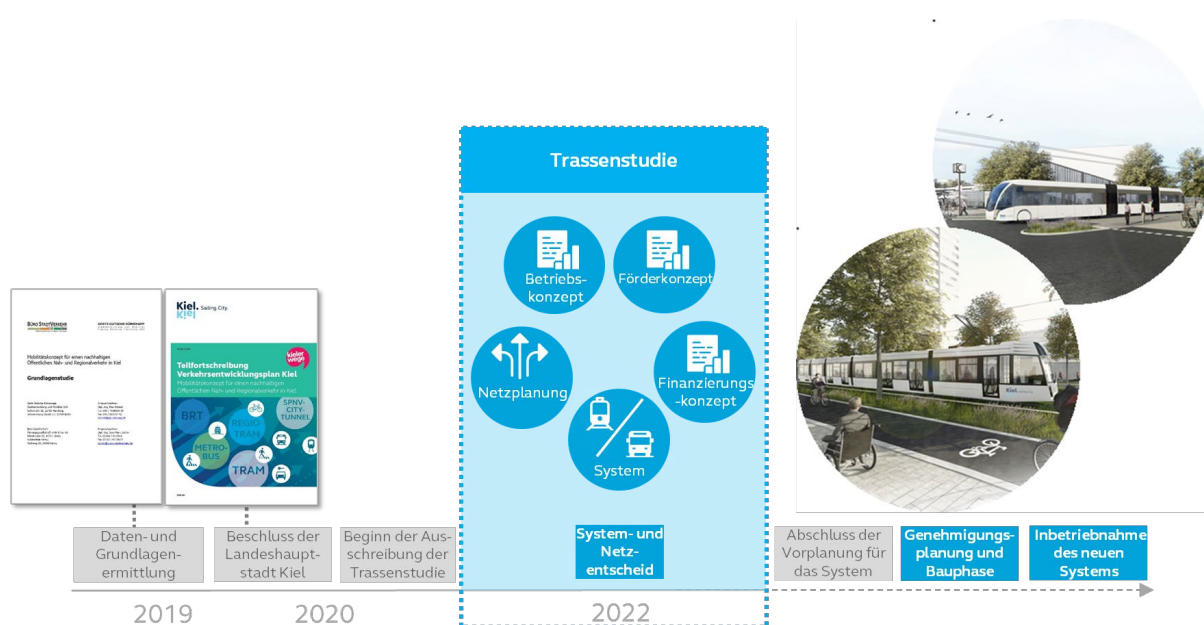


Abbildung 1 Zeitliche Einordnung Trassenstudie

---

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.

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:

**Wesentliches Ziel des Projektes ist die Konkretisierung der Machbarkeit eines hochwertigen ÖPNV-Systems (Tram oder BRT) für die LH Kiel**

<p>Konkretisierung der Machbarkeit: Herausarbeitung von Varianten, Mitwirkung beim Variantenentscheid und planerische Ausarbeitungen für ein zukünftiges Kernnetz.</p>	<p>Es muss eine fachliche Grundlage für die Entscheidung der Ratsversammlung über die Systemfestlegung erreicht werden.</p>	<p>Für das gesamte Netz und die erste Inbetriebnahmestufe muss die Förderfähigkeit nach den gängigen Richtlinien nachgewiesen werden, um die Finanzierbarkeit inkl. Folgekosten zu ermöglichen.</p>	<p>Es soll ein positiver Kosten-Nutzen-Indikator erreicht werden.</p>
<p>Das Projekt muss in flexible, realisierbare und förderungsfähige Realisierungsstufen aufgeteilt werden, da nicht von einer Realisierung des gesamten Netzes in einer Stufe ausgegangen werden kann.</p>	<p>Einhaltung des Zeitrahmens bis Ende 2022 zur Erreichung des Meilensteins "System- und Netzentscheid".</p>	<p>Es ist eine intensive Bürgerbeteiligung mit qualitativ hochwertigen Planunterlagen zu unterstützen, die Ergebnisse sind in den verschiedenen Detailgraden der Trassenplanung zu berücksichtigen.</p>	<p>Es ist durch die Trassenstudie inklusive der Planung des ergänzenden Busnetzes und der Verknüpfung zu anderen Verkehrsträgern nachzuweisen, dass für ganz Kiel verkehrliche Verbesserungen zu erreichen sind.</p>

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



- 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.

<b>Nr.</b>	<b>Arbeitspaket</b>	<b>Inhalt Dokumentation</b>
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

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 sensitiver Installationen	EMV-Kompatibilität sensitiver 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

<b>Nr.</b>	<b>Arbeitspaket</b>	<b>Inhalt Dokumentation</b>
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 zum Arbeitspaket A-161 befasst sich mit der grundsätzlichen Einschätzung der technischen Machbarkeit der elektrischen Anlagen für Tram und BRT.

---

## **1 Einführung**

Im Rahmen der Trassenstudie wird keine Detailplanung der elektrischen Anlagen oder der Fahrleitungsanlagen (z.B. analog einer Vorplanung nach HOAI) durchgeführt, sondern in diesem Arbeitspaket E-161 die grundsätzliche Einschätzung der technischen Machbarkeit in ausreichender Tiefe für Tram und BRT getrennt nach folgenden Punkten erarbeitet:

- Abwägung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher technischer Varianten (Hochkette, Flachkette, Einfachfahrleitung etc.) und streckenabschnittsbezogene Empfehlung
- Position und benötigter Flächenbedarf insbesondere für die Unterwerke und die Möglichkeiten der Anschlüsse an das Mittelspannungsnetz (in Abstimmung mit den Stadtwerken Kiel).
- Eine belastbare Kostenschätzung (siehe Dokumentation zu AP E-190) als Input für die Nutzen-Kosten-Untersuchung (siehe Dokumentation zu AP F-110), wobei neben der Traktionsenergieversorgung die Kostenschätzung auch eine Abschätzung der Aufwendungen für Elemente der 50Hz-Energieversorgung (z.B. Haltestellenbeleuchtung) beinhalten wird,
- Umgang mit einem eventuellen oberleitungsfreien Betrieb Tram und BRT sowie ggf. Auswirkungen auf die betrieblichen (Dokumentation zu AP E-111) und fahrzeugseitigen (Dokumentation zu AP B-100) Anforderungen.
- Die hier zu erstellende Planungsgrundlage muss eine heute realisierbare Basis darstellen, sodass die weitere technische Entwicklung möglich ist. Bisher nicht zugelassene oder erprobte Technologien werden somit zur Kenntnis genommen und auf eine Nutzbarkeit auf elektrifizierten Strecken hin bewertet, sind jedoch nicht maßgebender Bestandteil der oben aufgeführten Punkte, jedoch aber in Teilen auch in anderen APs zu bewerten.

## **2 Grundlagen der Energieversorgung**

### **2.1 Tram und BRT: Verknüpfung zu anderen Arbeitspaketen**

Die Grundsätze der Energieversorgung sind in der Dokumentation zu AP B-100 (Technische Grundlagen) enthalten. Dort wurde festgelegt und abgestimmt, dass das System Tram unter 750 V Oberleitung verkehrt (auch im Vergleich mit 1.500 V), oberleitungsfreie Abschnitte möglichst zu vermeiden sind oder sehr kurz sein müssen (Problematik Achslasten, Bauwerke).

Auf Grund der zwischenzeitlich durchgeführten Analysen zum Thema Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) wurde allerdings festgestellt, dass die Tram auf zwei Abschnitten stromlos und in Teilbereichen auch fahrdrahtlos verkehren muss (siehe auch Dokumentation E-162). Beim BRT kann dies durch eine Anpassung der ohnehin vorgesehenen fahrdrahtlosen Abschnitte erreicht werden. Vgl. hierzu Abbildung 16 bzw. Abbildung 20. Falls sich im weiteren Projektverlauf ergibt, dass diese stromlosen Abschnitte nicht erforderlich werden, so kann in diesem Bereich wieder eine Oberleitung installiert werden.

Für BRT ist festgelegt worden (siehe Dokumentation zu AP B-100, Planungsparameter), dass in der Trassenstudie ein System mit partieller Oberleitung geplant wird.

Grundsätzlich wird aber systemoffen geplant und die technische Weiterentwicklung zu jeder Zeit beobachtet, so dass die Einführung von Innovationen durch die Planung nicht verhindert wird. Das gilt für Tram und BRT.

Des Weiteren orientiert sich die Planung in diesem Arbeitspaket an dem 50 km-Netz der Stufe 1B, dem reduzierten Netz Stand April 2022, Abschichtung im FAR-Verfahren Stufe 1B und der dazugehörigen Infrastrukturplanung aus E-130, Design Freeze 1 und 2 (siehe Bericht Herleitung Streckennetz (AP C-100, E-100 und E-200))

### **2.2 Nur BRT: Vergleich Gelegenheitsladung versus partielle Oberleitung**

Für das System BRT kommt auch heute schon (Stand der Technik) eine partielle Oberleitung in Betracht, da die Fahrzeuge auch mit Traktionsbatterien ausgestattet werden und somit Teile des Netzes ohne Oberleitung bedienen können. Diese Flexibilität kann eine wichtige Rolle bei möglichen Erweiterungen oder Umleitungsfahrten spielen. In welchen Abschnitten eine BRT-Oberleitung sinnvoll und machbar ist, wird in diesem Bericht herausgearbeitet, die betrieblichen Auswirkungen wurden in der Dokumentation zu AP E-111 (Betrieb) ermittelt. In den Dokumentationen zu AP E-130 (Infrastrukturplanung) wurde die Strecke zunächst so geplant, dass für das BRT grundsätzlich im gesamten Netz eine Oberleitung möglich ist. Daher kann zu einem späteren Zeitpunkt auch noch über den genauen Anteil an Oberleitung entschieden werden, d.h. es wäre auch ein reines „Trolleybussystem“ mit 100% Oberleitung denkbar, von denen viele in der Schweiz erfolgreich

betrieben werden. In diesem Fall benötigen die Fahrzeuge keine zusätzlichen Traktionsbatterien.

Im Umkehrschluss kann aber auch noch die spätere Entscheidung für ein System ohne Oberleitung mit Depotladung und/oder Gelegenheitsladung fallen, wie es die KVG heute im Busbereich verfolgt. Dieses führt zu Fahrzeugmehrbedarf (siehe auch Dokumentation AP B-100), da an Linienendpunkten eine zusätzliche Wartezeit für die Aufladung berücksichtigt werden muss. Heute sind das nach Angaben der KVG rund 20 Minuten, je nach Ladeleistung kann das in Zukunft auch geringer sein. Bei einem dichten Takt der BRT Linien (aktuell 5 Minuten je Linie, könnte auch noch dichter werden) werden sich dann an ausgewählten Endpunkten mehrere Wendungen überlappen und somit ist Platz und die dazugehörigen Ladesteelen für 4-5 Fahrzeuge zu errichten. Die vorhandene Infrastruktur müsste dafür deutlich ausgebaut werden, der Platz ist an einigen Endstellen dafür nicht verfügbar. Auch benötigen die BRT-Busse in diesem Fall deutlich größere Batteriepakete, welche auf dem Dach installiert werden müssen. Dieses Mehrgewicht ist nach Diskussionen mit Herstellern im Rahmen der Trassenstudie nur durch eine verringerte Fahrgastkapazität zu kompensieren, was aufgrund der hohen Nachfrage nicht zielführend ist.

In Motion Charging, also das Nachladen der Batterie während der Fahrt mit partieller Oberleitung, benötigt gegenüber der Depotladung und Gelegenheitsladung geringere installierte Ladeleistungen und kleinere Batteriekapazitäten bei gleichzeitig höherem Nutzungsgrad. Vorteil ist der komplette Wegfall der Oberleitung, Masten und Teile der Unterwerke. Diese Einsparung wäre aber den Mehrkosten durch den Fahrzeugmehrbedarf gegenüberzustellen, wobei auch die Fördersituation, die für Infrastruktur und Fahrzeuge sehr unterschiedlich sein kann, berücksichtigt werden muss.

Neben diesen beschriebenen Optionen gibt es noch weitere Untervarianten, wie z.B. Ladestellen nicht nur an Endstellen (wie heute bei der KVG), sondern als Schnellaufwinder entlang der Strecke. In diesem Fall würden Batterien mit hohen Strömen sehr schnell an Haltestellen aufgeladen werden, so dass dadurch die benötigte Batteriekapazität wieder geringer ausfallen kann und somit das Mehrgewicht reduziert wird. Diese Lösung reduziert aber die Batterielebensdauer nach heutigem Stand der Technik. Solch eine Lösung ist im BRT-System (in Französisch BHNS abgekürzt) in Nantes realisiert.

Zusammengefasst ist die Option der hohen Batteriekapazität und Gelegenheitsladung nach Abstimmung mit OB.M und dem Projektteam für das BRT-System aktuell nicht die präferierte Variante, sie ist aber für die Zukunft nicht ausgeschlossen.

Für das System Tram ist eine Variante mit hoher Batteriekapazität und Gelegenheitsladung aus Gewichts- und Antriebsleistungsgründen keine Alternative zur Oberleitung.

### 2.3 Tram und BRT: Vergleich Wasserstoff und 750 V Oberleitung

Grundsätzlich werden sowohl eine Tram als auch ein BRT auch in Zukunft mit elektrischen Fahrmotoren angetrieben. Dabei bestehen mehrere Möglichkeiten, wie die elektrische Energie des Fahrmotors von der Primärenergiequelle zum Fahrmotor gelangt.

Als eines der zuverlässigsten Systeme hat sich in den vergangenen Jahrzehnten die Zuführung des elektrischen Stroms über Leitungsanlagen, sogenannte Oberleitungen erwiesen, bei dem das Fahrzeug über geeignete Anlagen (Stromabnehmer) während der Fahrt mit der Oberleitungsanlage verbunden ist.

Da diese Anlagen die höchsten Anforderungen auch in gestalterischer Sicht an die städtische Infrastruktur stellen (z.B. Erfordernis von Unterwerken, Masten, Wandanker, Oberleitungen) und andere Technologien sich teilweise noch im Entwicklungsstadium befinden, wird diese klassische Technik der Energieversorgung sowohl für BRT als auch für die Tram zu Grunde gelegt.

Denkbar wären auch die Nutzung anderer Energieträger sowohl für BRT als auch für die Tram. Hier wird insbesondere häufiger auf die Option Wasserstoff verwiesen, andere Energieträger kommen nach aktuellem Sachstand nicht in Frage. Aufgrund der Tatsache, dass z.B. die Energieeffizienz bei wasserstoffbetriebenen Bussen 25 % statt 60 % im Vergleich zu Batteriebussen beträgt und darüber hinaus auch die Strategie der bestehenden Busflotte der KVG klar in Richtung Elektromobilität geht, wird sowohl für das BRT-System als auch das Tram System eine Versorgung aus der Oberleitung zugrunde gelegt. Auch hat die Stadt Kiel bisher keine Wasserstoffstrategie entwickelt, in die das neue HÖV-System eingebettet werden könnte.

Der geringere Wirkungsgrad bei Wasserstoff ergibt sich durch die deutlich höhere Zahl der Umwandlungsvorgänge und deren Verlusten im Vergleich zur Energieversorgung aus dem Fahrdraht.

- Umwandlungsvorgänge bei Wasserstoff:
  - Primärenergie -> elektrische Energie -> Wasserstoff (inkl. Transport) -> elektrische Energie -> mechanische Energie (4 Umwandlungen)
- Umwandlungsvorgänge bei Versorgung aus Fahrdraht (oder Batterie):
  - Primärenergie -> elektrische Energie -> mechanische Energie (2 Umwandlungen)

Im Trambereich sind in Europa bisher keine Wasserstoffantriebe umgesetzt worden. Erste Planungen mit einem Versuchsfahrzeug beginnen nun in Leipzig. Diese Ansätze sind eher in den experimentellen Forschungsbereich einzuordnen. In China existieren einige Beispiele, zu denen aber noch wenig Betriebserfahrungen vorliegen. Deswegen kommt für das System Tram Wasserstoff aktuell nicht als ernsthafte Option in Frage.

Für das System BRT existieren die oben beschriebenen Nachteile im Wirkungsgrad und damit der Nachhaltigkeit in gleichem Maße. Ein bekanntes BRT-System mit Wasserstoffantrieb existiert in der südfranzösischen Stadt Pau. Deswegen wird in Kiel eine partielle Oberleitung für das System BRT geplant. Trotzdem kann diese

---

später, wenn die Stadt Kiel eine konsistente Wasserstoffstrategie verfolgen würde, immer noch weggelassen werden und auf eine andere Antriebsenergie gewechselt werden. Das ist aber spätestens im Rahmen der Vorplanung und der Ausarbeitung und Einreichung der vollen Standardisierten Bewertung zu entscheiden.

## **2.4 Elektrische Anlagen im Depot und Abstellanlagen**

Für die Ausstattung im Depot und an Abstellanlagen ergeben sich für beide Systeme folgende Randbedingungen, die für alle Standorte identisch sind (siehe Dokumentation AP E-180):

- Platzierung eines Unterwerks am Depot, welches auch einen Streckenteil mitversorgen kann
- Versorgung der Unterwerke durch eine Mittelspannungs-10 kV-Leitung
- Abstellung sollte mit Oberleitung versehen werden, da die Fahrzeuge „aufgebügelt“ (mit dem Stromabnehmer an die Oberleitung angeschlossen, abgestellt werden). So kann das Fahrzeug morgens im Winter automatisch vorgeheizt und Batterien (eher BRT) schonend über Nacht aufgeladen werden.
- größere und vollständigere Batteriewerkstatt (relevant für BRT, für Tram nur, falls die Fahrzeuge mit Traktionsbatterien ausgestattet werden, Punkt ist offen, aber nach aktuellem Planungsstand eher unwahrscheinlich)
- Batterielager mit bestimmten Sicherheitsaspekten (relevant für BRT, für Tram nur, falls die Fahrzeuge mit Traktionsbatterien ausgestattet werden, Punkt ist offen, aber nach aktuellem Planungsstand eher unwahrscheinlich)

Die Energieversorgung wird bei Tram und BRT über eine Anbindung an das bestehende 10 kV-Mittelspannungsnetz ermöglicht. Hinsichtlich der Lage des Netzes, deren Belastbarkeit und mögliche Unterwerksstandorte wurde eine Abstimmung mit den Stadtwerken zwischen Oktober und Dezember 2021 durchgeführt. Die Rückmeldungen machen klar, dass das heute vorhandene Mittelspannungsnetz in der Innenstadt nicht die notwendige Belastbarkeit aufweist und durch eine separate Ringleitung unabhängig von der heutigen Energieversorgung verstärkt werden muss.

Das bedeutet, dass in diesem Fall auch die Betriebshofstandorte im Innenstadtbereich, durch diese separate Ringleitung mitversorgt werden können. Dies betrifft vor allem den Standort Postfuhrhof, sofern dieser nicht noch an die geplante 10 kV-Anbindung des KVG-Busbetriebshofs-Werftstraße mit angebunden werden könnte. Für die Standorte, die sich nicht direkt am geplanten HÖV-Linienverlauf befinden, wie die Diedrichstraße und die Benzstraße, ist eine Zuleitung zu diesem Grundstück notwendig. Nach Aussagen der KVG (Ortsbesichtigung Diedrichstraße am 29.09.21) ist dies für die Diedrichstraße über eine ca. 500 m lange Zuleitung direkt von einem bestehenden Umspannwerk möglich und ohnehin geplant. Als präferierter Standort für das Depot hat sich am Ende die Diedrichstraße herauskristallisiert, so dass das Mittelspannungsanbindungsthema gelöst ist.



## **2.5 Allgemeine Ausgestaltung der Energieversorgungsanlage**

Durch die Planung mit einer Fahrdrahtanlage, die ggf. abschnittsweise oder vollständig entfallen kann, bleibt das HÖV-System somit systemoffen. Spätestens in der Entwurfsplanung, idealerweise aber schon in der Vorplanung, ist zu entscheiden, an welchen Stellen genau auf die Fahrleitung verzichtet werden kann.

Grundlegend wird somit eine Energieversorgung des hochwertigen ÖPNV-Systems mit 750 VDC (750 Volt Direct Current = Gleichstrom) aus der Oberleitung angenommen. Eine Erhöhung der Spannung auf 1.500 VDC bringt ggf. deutliche Vorteile, so z.B. bei der Zahl der Unterwerke und im Hinblick auf die elektromagnetische Verträglichkeit. Um systemoffen zu bleiben, geht die Planung im Moment weiter von 750 VDC aus, eine spätere Anpassung auf 1.500 VDC ist möglich.

Dabei gilt sowohl für den BRT als auch für die Tram, dass die einschlägigen Regelwerke, insbesondere VDV Schriften 505 (Aufbau und Schutzmaßnahmen von Gleichrichter-Unterwerken von Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen) und 507 (Aufbau und Schutzmaßnahmen von elektrischen Energieanlagen an Strecken von Gleichstrom-Nahverkehrsbahnen), Anwendung finden.

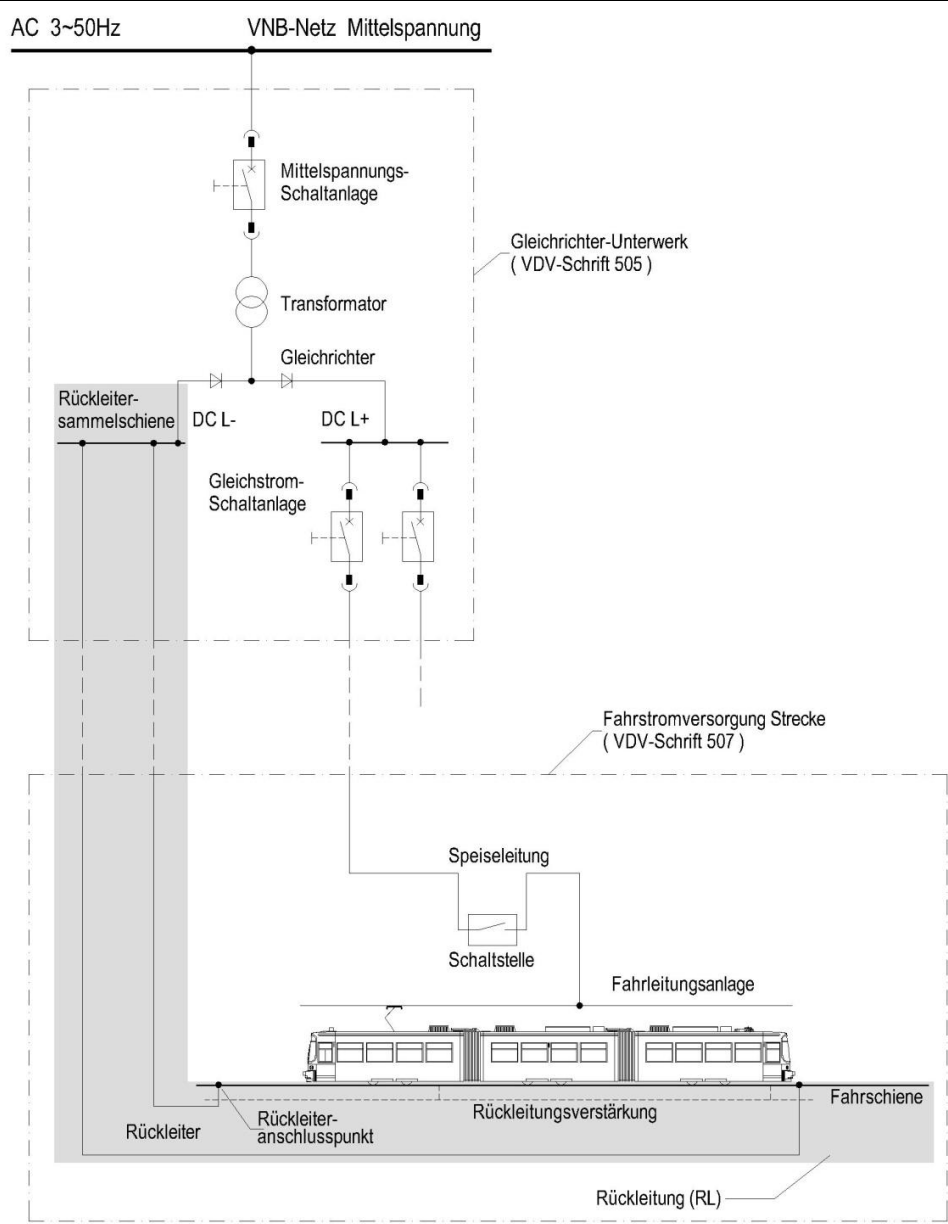


Abbildung 3 Prinzipskizze Fahrstromversorgung von Gleichstromanlagen<sup>1</sup>, Quelle: VDV Schrift 507

Abbildung 3 zeigt den schematischen Aufbau der Fahrstromversorgung für die Tram.

Im Unterschied zur Tram erfolgt die Rückleitung beim BRT nicht über die Fahrschiene, sondern über einen zweiten, parallel geführten Fahrdrabt.

<sup>1</sup> Die hier dargestellte Rückleitungsverstärkung ist in aller Regel nicht erforderlich, da die Fahrschiene über einen ausreichenden Querschnitt verfügt.



Abbildung 4 Trolleybus-Oberleitung im Verzweigungsbereich (Beispiel Salzburg)

Dies bedeutet, dass im Bereich von Abzweigen Weichen in der Oberleitungsanlage installiert werden müssen, vgl. Abbildung 4. Hierauf kann bei der Nutzung von BRT oder Trolley Bus mit zusätzlichen Batterien teilweise verzichtet werden.

Die Kombination von Oberleitung und Batterie hat signifikante Vorteile, u.a.:

- Einsparung von Oberleitungen bis zu 60 %;
- In der Innenstadt kann ohne Oberleitung gefahren werden, was zu mehr betrieblicher Flexibilität führt und keine Weichen elektrifiziert werden müssen;
- Keine Fahrleitung in komplexen Kreuzungen;
- Hohe Verfügbarkeit der erprobten Technologie (Fahrleitung);
- Weglassen der Oberleitung in kritischen Bereichen, z.B. Universität aus EMV-Gründen, einfach machbar.

Demgegenüber hat ein Batteriefahrzeug aber auch Nachteile, die sich insbesondere durch die Umweltaspekte bei der Fertigung der Batterien und die erhöhte Fahrzeugmasse und einen dadurch bedingten erhöhten Traktionsenergieverbrauch ergeben.

Auf Grund der ästhetischen Anforderungen in der Innenstadt und da die Wendezeit an den Endhaltestellen so zum Nachladen genutzt werden kann bietet es sich an, in der Innenstadt auf die Oberleitung zu verzichten.

### 3 Oberleitungstypen

Oberleitungen unterscheiden sich zum einen bezüglich der eingesetzten Befestigungsart (Masten verschiedener Art, Wandanker) und der damit verbundenen Fahrdrahtaufhängung. Diese Unterscheidung gilt sowohl für BRT als auch für die Tram. Während sich beim BRT keine Unterscheidung des Fahrleitungstyps ergibt, kann bei der Tram weiterhin zwischen Einfachfahrleitung und Hochkettenfahrleitung unterschieden werden, die unterschiedliche Eigenschaften z.B. beim möglichen Mastabstand, der ästhetischen Erscheinung und der möglichen Höchstgeschwindigkeit haben.

Ein Wechsel zwischen verschiedenen Masttypen kann grundsätzlich jederzeit erfolgen, ein Wechsel des Fahrleitungstyps (Hochkette <-> Einfachfahrleitung) sollte nicht zu häufig erfolgen, da in diesem Fall auch Fahrdrahtenden sinnvoll abgefangen werden müssen.

Im Folgenden werden, die im Rahmen der Trassenstudie grundsätzlich eingesetzten Typen mit ihren jeweiligen Eigenschaften unterschieden nach Tram und BRT dargestellt.

#### 3.1 Tram

Gemäß VDV-Schrift 550, Kapitel 2.2.1 sollte zunächst immer eine Hochkettenoberleitung gewählt werden, u.a. auch auf Grund deren besseren Verhaltens bei einem Fahrdratriss. Nur wo dies – z.B. aus Gründen des Stadtbildes – nicht möglich ist, sind Einfachfahrleitungen möglich.

Aus der theoretisch möglichen Vielzahl von Oberleitungsausführungen werden – basierend auf den Empfehlungen der VDV-Schrift 550 – folgende für die weitere Planung der Trassenstudie vorgeschlagen:

##### 3.1.1 Einfachfahrleitung mit Seilgleiter und Nachspannung

**Vorteile:** weniger Leitungen „in der Luft“; ästhetisch besser in das Stadtbild integrierbar; ggf. etwas geringere Kosten; Masten können statisch auf weniger Zugkraft ausgelegt werden.

**Nachteile:** geringere Stromtragfähigkeit; geringere Geschwindigkeiten; kürzere Mastabstände (als bei Hochkette), Feldlänge ca. 30 m, ggf. höherer Instandhaltungsaufwand wegen der Abnutzung, insb. vor Klemmstellen der Aufhängung.

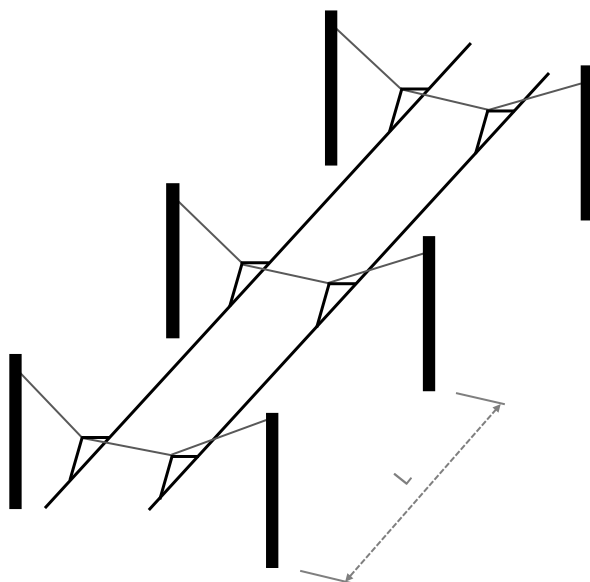


Abbildung 5 Schema Einfachfahrleitung mit Seilgleiter

### Anwendbarkeit:

In Bereichen mit höherem städtebaulichem Anspruch in denen aber keine hohen Fahrgeschwindigkeiten erforderlich sind.

Bei Überlappung mehrerer Linien wird ein zusätzliches Parallelkabel zur Erhöhung des Querschnitts erforderlich. Dieses kann entweder als Erdkabel (höhere Kosten) oder als Verstärkungsleitung (1 oder 2) mittig zwischen den beiden Fahrdrähten geführt werden. Alternativ kann auch ein weiteres Gleichrichterunterwerk (GUW) vorgesehen werden.

Von einem doppelten Fahrdraht wird eher abgeraten, zumindest sollte der zweite Fahrdraht aber etwas höher gesetzt werden, um doppelten Verschleiß zu vermeiden.

Beispielhafte Ausführungen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 6 Zusätzliches Parallelkabel bei Einfachfahrleitung (Beispiel Bern, Quelle: Furrer & Frey)

Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Mittelmast



Abbildung 7 Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Mittelmast, hier mit doppelter Fahrleitung (Beispiel Aarhus)

Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Seitenmasten, Ausleger



**Abbildung 8 Einfachfahrleitung, Seitenmast mit Ausleger (Beispiel Madrid)**

---

Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Seitenmast, Doppelausleger



**Abbildung 9 Einfachfahrleitung, Seitenmast und Doppelausleger (Beispiel Nottingham)**



### Einfachfahrleitung mit Seilgleiter, Querverspannung



Abbildung 10 Einfachfahrleitung mit Querverspannung (Beispiel Freiburg im Breisgau)

### Festlegung für die Trassenstudie:

- In sensiblen Bereichen kann eine Einfachfahrleitung mit Querverspannung (ggf. Wandankern) zur Anwendung kommen.
- Bei Wandankern ist (in einem späteren Planungsstadium) deren statischer Nachweis erforderlich, was insbesondere bei älterer Bausubstanz und fehlenden Planunterlagen unmöglich ist. Wandanker sollten aus diesem Grund nur bei neueren, eher mehrgeschossigen Gebäuden angenommen werden.
- Grundsätzlich sind immer zwei Isolationsebenen vorzusehen, so dass Arbeiten unter Spannung möglich bleibt.

#### 3.1.2 Hochkettenoberleitung

**Vorteile:** größere Mastabstände; bessere Stromtragfähigkeit (höherer Querschnitt); höhere Geschwindigkeiten; besseres Verhalten bei Fahrdrachtriss.

**Nachteile:** ästhetisch weniger ansprechend; ggf. etwas höhere Kosten (aber auch deutlich weniger Masten)

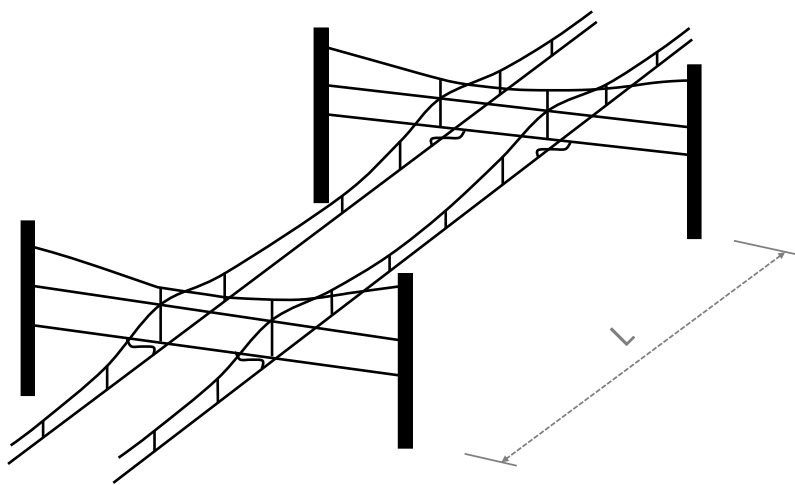


Abbildung 11 Schema Hochketten-Oberleitung

Beispielhafte Ausführungen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

Hochkette mit Mittelmast



Abbildung 12 Hochkette mit Mittelmast (Beispiel Freiburg im Breisgau)

---

Hochkette mit Seitenmast



**Abbildung 13 Hochkette mit Seitenmast (Beispiel Karlsruhe)**

Hochkette mit Doppelausleger



**Abbildung 14 Hochkette mit Doppelausleger (Beispiel RNV, Mannheim/Heidelberg)**

Die Hochkettenoberleitung mit Doppelausleger ist eine mögliche Bauform, sollte jedoch auf Grund ihrer ästhetischen Defizite nicht als eine der Standardbauformen vorgesehen werden.

#### Hochkette mit Querverspannung



Abbildung 15 Hochkette mit Querverspannung (Beispiel Karlsruhe)

Auch eine Hochkettenoberleitung kann an einer Querverspannung befestigt werden. Diese Lösung kommt insbesondere dort zum Tragen, wo die Masten auf Grund von geometrischen Gegebenheiten (im Bild die Haltestelle) oder der Ästhetik (z.B. Einreihung in Baumreihe) weiter von der Trasse abgerückt werden soll.

Fazit:

Die Ästhetik einer Oberleitung hängt insbesondere auch von den gewählten Masten ab. Das Bild aus Freiburg (Abbildung 12) mit Hochkette am Mittelmast zeigt, dass auch mit einer Hochkette eine Lösung mit gutem optischem Ergebnis erreicht werden kann. Zudem kann durch den Mittelmast die Zahl der Masten nahezu halbiert werden und die Masten i.d.R. statisch kleiner auslegt werden.

Die Masten sind idealerweise so zu wählen, dass mit einem Masttyp (d.h. eine einheitliche Form) unterschiedlicher statischer Auslegung auch unterschiedliche Anforderungen (z.B. Abspannungen, Fixpunkte) abgedeckt werden können. Bewährt haben sich grundsätzlich Stahlmasten in Rund (zylindrisch, 6- oder 8-kantig, konisch) oder Doppel-T-Ausführung.

#### **Festlegung für die Trassenstudie:**

Als Standardlösungen für die Tram sollten daher gelten:

- In Bereichen mit  $V_{max}$  (Höchstgeschwindigkeit) größer 40 km/h: Hochkette mit Mittelmast oder Seitenmasten (wenn möglich mit Querverspannung) da in diesem Geschwindigkeitsbereich der geringere Verschleiß und die höhere Stromtragfähigkeit der Hochkettenfahrleitung zum Tragen kommt.
- In Bereichen mit  $V_{max}$  (Höchstgeschwindigkeit) kleiner 40 km/h und höheren ästhetischen Anforderungen: Einfachfahrleitung mit Querverspannung, da in diesem Bereich der bessere ästhetische Eindruck der Einfachfahrleitung überwiegt und der höhere Verschleiß im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich nicht so stark zum Tragen kommt.

#### **3.1.3 Übersicht – Fahrleitungsarten Tramnetz**

Die folgende Darstellung zeigt die mit Hochketten- bzw. Einfachfahrleitung überspannten Bereiche des Tramnetzes. Sollte sich das Erfordernis von strom- bzw. fahrdrahtlosen Abschnitten (Siehe Dokumentation AP E-162) in den Folgephasen Vorplanung und Entwurf nicht bestätigen, so werden diese Bereiche ebenfalls mit Oberleitung ausgestattet, siehe folgende Abbildung 16.

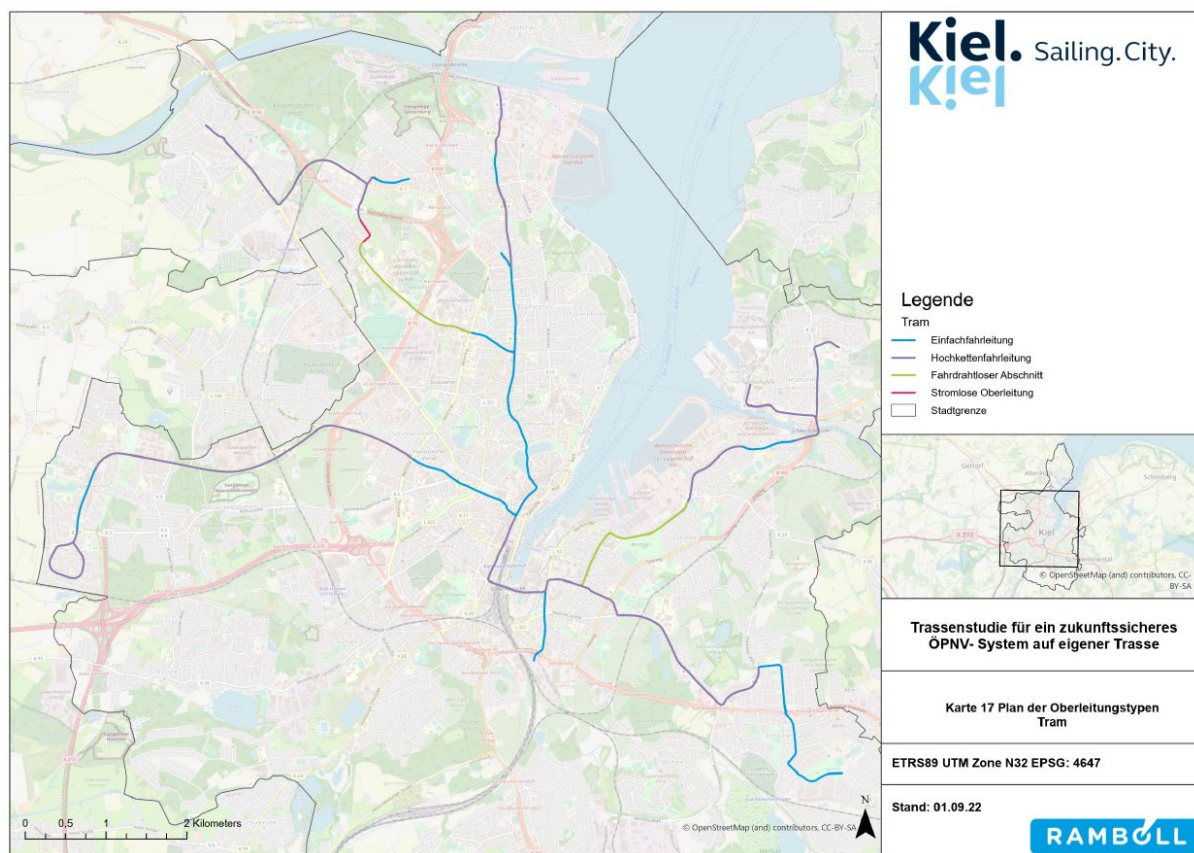


Abbildung 16 Tram Abschnitte mit Hochketten- bzw. Einfachfahrleitung (unter Berücksichtigung von EMV-Anforderungen)

### 3.2 BRT

BRT (oder O-Bus- bzw. Trolleybus-)Fahrleitungen werden in der Regel als doppelte Einfachfahrleitungen für Plus- und Minus-Pol ausgeführt. Dabei kommen grundsätzlich die gleichen Bauformen in Frage wie bei der Einfachfahrleitung der Tram, d.h. also Mittel- oder Seitenmasten, wobei die Seitenmasten mit Auslegern oder Querverspannungen ausgestattet werden können. Lediglich die Befestigung des Fahrdrabtes selbst ist bei der Trolleybus-Oberleitung pendelnd ausgeführt. Bei weitem die überwiegende Anwendungsform scheint hier jedoch die Querverspannung zu sein, teilweise auch mit Wandankern.

Während die Trolleybus-Fahrleitung in der Geraden wenig aufdringlich ausgeführt werden kann, erfordern Weichen und auch schon engere Radien teilweise komplizierte und damit sichtbare Konstruktionen.



Abbildung 17 Trolleybus-Einfachfahrleitung mit Querverspannung und Wandankern (Beispiel Bern)



Abbildung 18 Trolleybus-Einfachfahrleitung im Bogenbereich (Quelle: Wikipedia)

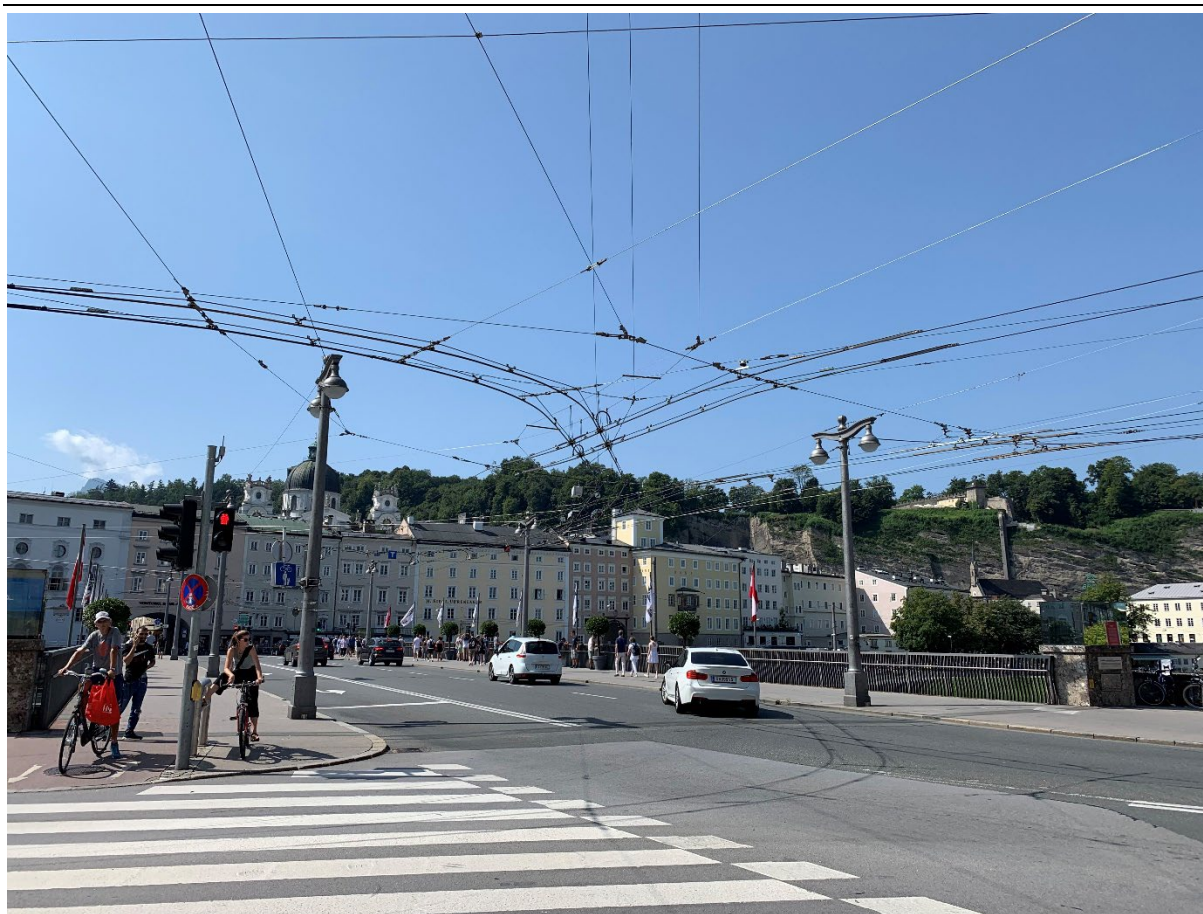


Abbildung 19 Fahrdrähtkreuzungen (Beispiel Salzburg)

### Festlegung für die Trassenstudie:

Für das BRT-System wird eine Trolleybus-Oberleitung als Einfachfahrleitung mit Seitenmasten und in der Regel Querverspannung unterstellt. Wo dies auf Grund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich ist, wird ein Seitenmast mit Doppelausleger vorgesehen.

Für die Trassenstudie wird zunächst so geplant, dass auf allen Abschnitten grundsätzlich eine Oberleitung installiert werden kann. Anschließend wurde ermittelt, in welchen Bereichen diese betrieblich weggelassen werden kann, um eine höhere Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

#### 3.2.1 Elektrifizierte Abschnitte

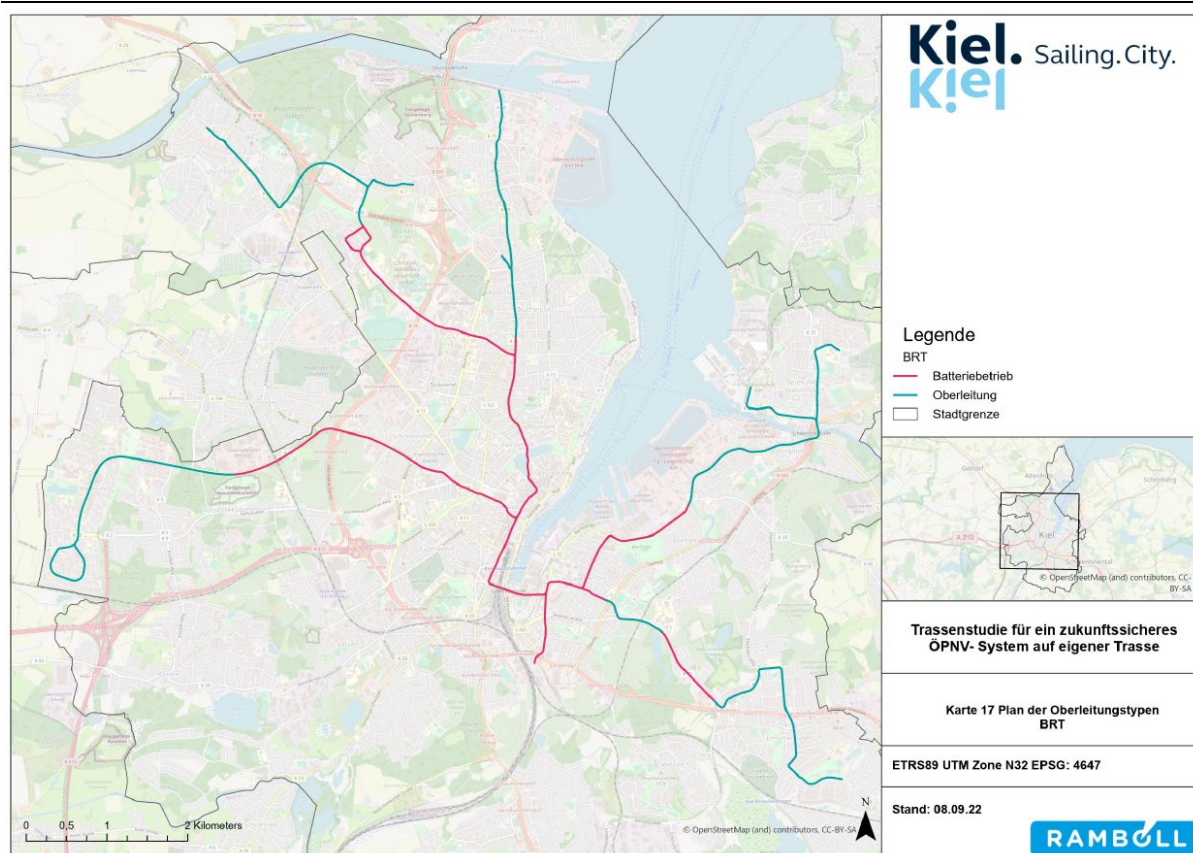
Für die Elektrifizierung des BRT wird eine Variante vorgeschlagen, die die Elektrifizierung der Außenäste vorsieht. Im Innenstadtbereich existieren Kapazitätsengpässe im 10 kV Versorgungsnetz (Abstimmung mit Stadtwerken dazu hat stattgefunden), sodass für die Stromversorgungsanlagen des HÖV-Systems neue Leitungen in die entsprechenden Bereiche gelegt werden müssten. Dies wäre mit einem erheblichen finanziellen Mehraufwand verbunden und kann durch diese Anordnung



der Oberleitungsabschnitte teilweise umgangen werden. Zudem entfallen auf diese Weise ein großer Teil der wartungsintensiven Weichenanlagen und die Überspannung der komplexen innerstädtischen Knoten. Weiterhin kann bei dieser Variante an den Endhaltestellen während der Wendezeiten geladen werden, wodurch die benötigte Oberleitungsstrecke reduziert werden kann. Ein wichtiger Aspekt ist auch die bessere innerstädtische Integration des HÖV, da sich dieser aufgrund der fehlenden Oberleitungsanlagen harmonischer in das Stadtbild einfügt. Diesen Vorteilen steht die größere Strecke gegenüber, die mit Oberleitungsanlagen versehen werden muss.

Die Ermittlung der benötigten Oberleitungsanlagen erfolgt auf Basis eines Referenzwertes für den Oberleitungsanteil je Korridor, der in dieser Iteration auf 30 bis 40 % festgelegt wurde. Es wurden die Korridore anstelle der Linien des Mitfalls 3/4 betrachtet, um eine flexible Verknüpfung der Korridore im Zuge der Fahrplangestaltung zu ermöglichen. Die Oberleitungsabschnitte erstrecken sich stets von einer Haltestelle bis zum Endpunkt eines Korridors. Der Beginn an einer Haltestelle ist ideal, da das Aufbügeln der Pantographen an die Oberleitung bei derzeit verfügbaren Systemen am besten im Stand erfolgen sollte. Erfordernisse aus dem AP E-162 (EMV) sind in diesem Vorschlag auch berücksichtigt. Es ergibt sich die in der folgenden Abbildung 20 dargestellte Anordnung für das BRT Netz.

Weiterhin wurde eine „Kurzläufer“ bzw. Verstärkerlinie (Linie 4) gemäß dem aktuellen Linienkonzept berücksichtigt. Hierfür wird der kurze elektrifizierte Abschnitt im Bereich Gaarden benötigt.



**Abbildung 20 BRT-Streckenabschnitte mit Oberleitung (unter Berücksichtigung von EMV-Anforderungen)**

Sollte sich das Erfordernis der Erweiterung der strom- bzw. fahrdrahtlosen Abschnitte auf Grund der EMV-Thematik nicht bestätigen, so können die Bereiche mit Oberleitung in den Abschnitten Bremerskamp und entlang der Werftstraße (siehe auch Dokumentation AP E-162 EMV) ggf. wieder verlängert werden.

Die fahrdrahtlosen Abschnitte wurden mit Hilfe eines Ramboll eigenen Programms zur Verbrauchsermittlung von E-Bussen und einer Ladesimulation überprüft. Dabei wurde ein System zu Grunde gelegt, durch welches der Bus mit einer Leistung von bis zu 500 kW aus der Oberleitung versorgt werden kann. Von dieser Leistung stehen 200 kW zum Laden der Batterien zur Verfügung. Mit der Leistung werden die Fahrmotoren und Nebenverbraucher versorgt. Diese Spezifikationen weist beispielsweise das System IMC 500 des Marktführers Kiepe Electric auf.

Alle Berechnungen wurden exemplarisch für die drei Linien des Mitfalls 2 durchgeführt. Betrachtet wurden stets zwei Umläufe. Im ersten Umlauf wurde entsprechend der im AP E-111 ermittelten Wendezeiten an den Endhaltestellen geladen, wobei die Ladeleistung im Stand auf 100 kW reduziert wird, um ein punktuell Überhitzen der Oberleitung zu verhindern. Im zweiten Umlauf wurde die Linie ohne

Elektrische Anlagen

Trassenstudie für ein zukunftssicheres ÖPNV-System auf eigener Trasse

Ladezeiten an den Endhaltestellen befahren. Die Fahrzeugbatterie ist zu Beginn zu 80 % geladen.

Die Simulation ergab, dass auf allen Linien des Mitfalls 2, für die die Betriebssicherheit geprüft wurde, eine vollständige Aufladung der Batterien sichergestellt werden kann und ausreichend Reserven für eine weitere Linie vorhanden sind. Dies wäre auch ohne die Wendezeiten möglich, sodass auch bei Verzögerungen im Betriebsablauf ein sicherer Betrieb möglich ist. Diese Ergebnisse sind auf die weiteren Mitfälle übertragbar. Die genauen Ergebnisse sind der Abbildung 21 zu entnehmen.

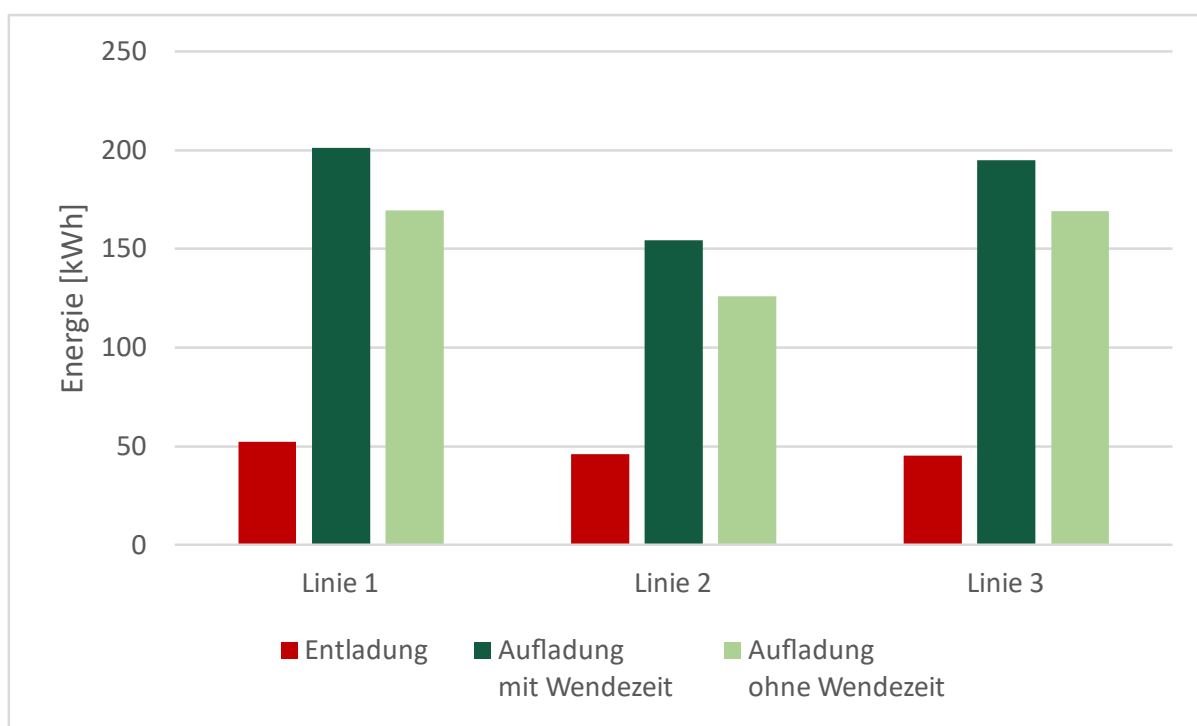


Abbildung 21 Ergebnisse der Simulation Energieverbrauch BRT

Vor dem Hintergrund der Simulationsergebnisse richtet sich die Wahl der verbauten Speichergröße in erster Linie nach dem gewünschten Grad der Redundanz. Eine Kapazität von 50 kWh ist (theoretisch) rechnerisch bereits ausreichend, sodass der Ladestand im normalen Betrieb nie unter 50 % fällt. Es wird jedoch zu größeren Kapazitäten geraten, um die betriebliche Flexibilität zu erhöhen und so beispielsweise genügend Puffer für die Bewältigung von Umleitungsstrecken oder länger andauernden Verkehrsbehinderungen bereitzuhalten. Dabei ist aber die Gewichtsfrage zu beachten, da größere Batteriekapazitäten auch immer zu Mehrgewicht führen.

Es kann, sofern der Systemscheid zugunsten des BRT fällt, ab der Vorplanung weiter geprüft werden, ob sich die elektrifizierten Abschnitte weiter reduzieren

---

lassen, da die vollständige Aufladung der Batterien in einigen Korridoren bereits vor dem Erreichen der Endhaltestellen erfolgt.

## 4 Grundsätze der Energieversorgungsanlagen

Folgende Grundsätze zur Planung, Positionierung und Konzeptionierung der Gleichrichterunterwerke wurden angewendet, die Standards in den meisten deutschen BOStrab-Netzen sind:

- Die Versorgung der Oberleitungsanlagen erfolgt sowohl bei Tram als auch bei BRT aus Gleichrichter-Unterwerken.
- Das Gleichrichter-Unterwerk (GUW) wird aus dem städtischen Mittelspannungsnetz versorgt. Die Umwandlung in 750 (oder 1.500) VDC erfolgt über eine Transformator-Gleichrichtereinheit.
- Für die Trassenstudie wird bei 750 VDC die branchenübliche Annahme getroffen, dass ca. alle 1,5 - 2 km ein Unterwerk für sowohl BRT als auch Tram erforderlich wird. Dies erlaubt den Betrieb mit 3-4 Linien, wie er in Kiel vorgesehen ist, bei Einführung weiterer Linien ist nachzurechnen, ob diese noch abgedeckt werden können, ob die Kapazität der GUW zu erhöhen ist oder punktuell zusätzliche GUW errichtet werden sollten.
- Durchführung von Diskussionen mit den Stadtwerken zur Feststellung, wo ein Mittelspannungsanschluss mit ausreichender Versorgungsreserve grundsätzlich verfügbar ist.
- Immer zweiseitige Speisung in alle Oberleitungsabschnitte für höhere Zuverlässigkeit und Ausgleich von Lastspitzen.
- Benötigter Flächenbedarf und Lage zu anderen Infrastrukturen (u.a. Anschluss für Schwerlastverkehr) sowie notwendige Abstände zu Wohngebäuden sind bei der Positionierung der Unterwerke mit zu bedenken.

Punkte, die ab der Vorplanung mit den Stadtwerken zu einem späteren Zeitpunkt abgeklärt werden sollten, sind:

- Klärung, ob 6 Puls oder 12 Puls Gleichrichter möglich oder nötig sind wegen besserer Oberwellen, dazu ist eine Vorgabe der Stadtwerke notwendig
- Klärung der Möglichkeit der NetZRückspeisung mit benötigter Bremsenergie oder Energiespeicher im GUW (bisher nicht Standard)
- GUW mit 50 kVA oder 100 kVA Eigenbedarf, Installation eines Trafos 400 V AC zur Versorgung der GUW nahen Verbraucher (spart teuren Stromankauf aus dem 400 V Netz der Stadtwerke).
- Vernünftiges abgestimmtes Messkonzept / Abrechnungskonzept der Stromzähler zur Erlangung aller Beihilfen (EEG) und Abrechnung Stromsteuer. Alle GUW im Netz können gepoolt werden (Zählen als eine Abnahmestelle) damit eventuell besseres Lastspitzenverhalten.

### 4.1 Positionierung Unterwerke

Für BRT und Tram erfolgt die Versorgung der Oberleitungsanlagen mittels Gleichrichter-Unterwerke (GUW), die aus dem städtischen Mittelspannungsnetz versorgt

---

werden. Die Auslegung und damit auch der Platzbedarf der Einrichtungen werden in diesem frühen Planungsstadium als vergleichbar für Tram und BRT unterstellt, weshalb eine Unterscheidung zwischen den Systemen nicht notwendig ist. Der benötigte Raum ist mit dem Platzbedarf einer Doppelgarage vergleichbar. BRT Unterwerke sind im Gegensatz zur Tram, die aktuell mit 100 % Oberleitungsanteil geplant wird, nur an den Abschnitten mit Oberleitung also an den Außenästen notwendig. Entwurfsziel ist es, ein redundantes System aufzubauen, sodass die Betriebssicherheit im Fall n-1, also dem Ausfall eines Unterwerks, trotzdem im Regelbetrieb aufrechterhalten werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen ist es notwendig, dass an schwach befahrenen Linienästen alle 2000 m und an stärker befahrenen Streckenabschnitten alle 1000 m ein Unterwerk angeordnet wird. Zusätzlich muss an allen Endpunkten des Netzes ein GUW gebaut werden, welches jedoch maximal eine Distanz von 1500 m zum nächsten Unterwerk aufweisen darf. Beim BRT ist dies an beiden Enden der Oberleitungsabschnitte notwendig.

Mit diesen Entwurfskriterien wurde in einem ersten Schritt eine grobe Mengenbestimmung und Positionierung im Netz vorgenommen. Als Grundlage diente dabei die von den Stadtwerken Kiel erhaltene Karte des 10 kV Netzes. In einem nächsten Schritt wurde eine genaue Positionierung der Unterwerke auf Basis von Luftbildern und Katasterplänen vorgenommen. Es wurde dabei versucht, nach Möglichkeit städtische Flächen zu verwenden und den Einfluss auf die Umgebung so gering wie möglich zu gestalten. Insbesondere im Bereich der Innenstadt ist an einigen Stellen der Bau auf teilweise privaten Flächen, das Versenken der Unterwerke im Boden oder die Positionierung etwas abseits der Trasse notwendig. Insbesondere für diese Standorte sind weitere Untersuchungen in den Folgephasen ab dem Entwurf notwendig. Erfahrungen der Stadtwerke und der KVG zeigen, dass das Finden von Flächen in vielen Fällen ein langwieriger und schwieriger Prozess ist. Nach der jetzigen Einschätzung von Ramboll ist die Positionierung der Unterwerke jedoch grundsätzlich entlang des gesamten Netzes möglich.

Es ergibt sich für den Fall Tram ein Bedarf von 26 GUW und im Fall BRT ein Bedarf von 20 GUW. Die vorgeschlagenen Positionen für die GUW im 50 km-Tram-Netz können der Karte in der folgenden Abbildung 22 entnommen werden. Der nur recht geringe Unterschied in der Anzahl rührt da her, dass aufgrund der vielen einzelnen Abschnitte mehr GUW notwendig sind, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die entfallenden Unterwerke liegen jedoch allesamt in der Innenstadt, in der die Positionierung wie bereits zuvor erläutert besonders schwierig ist.



Abbildung 22 Position Gleichrichterunterwerke (GUW) Tram

Abbildung 23 stellt die aktualisierten und verbleibenden Unterwerksstandorte nach Ermittlung des Vorzugsnetzes Tram (Stand April 2022, Abschichtung im FAR-Verfahren Stufe 1B, siehe Endbericht Anlage 1) und unter Berücksichtigung der strom- bzw. fahrdrahtlosen Abschnitte dar.

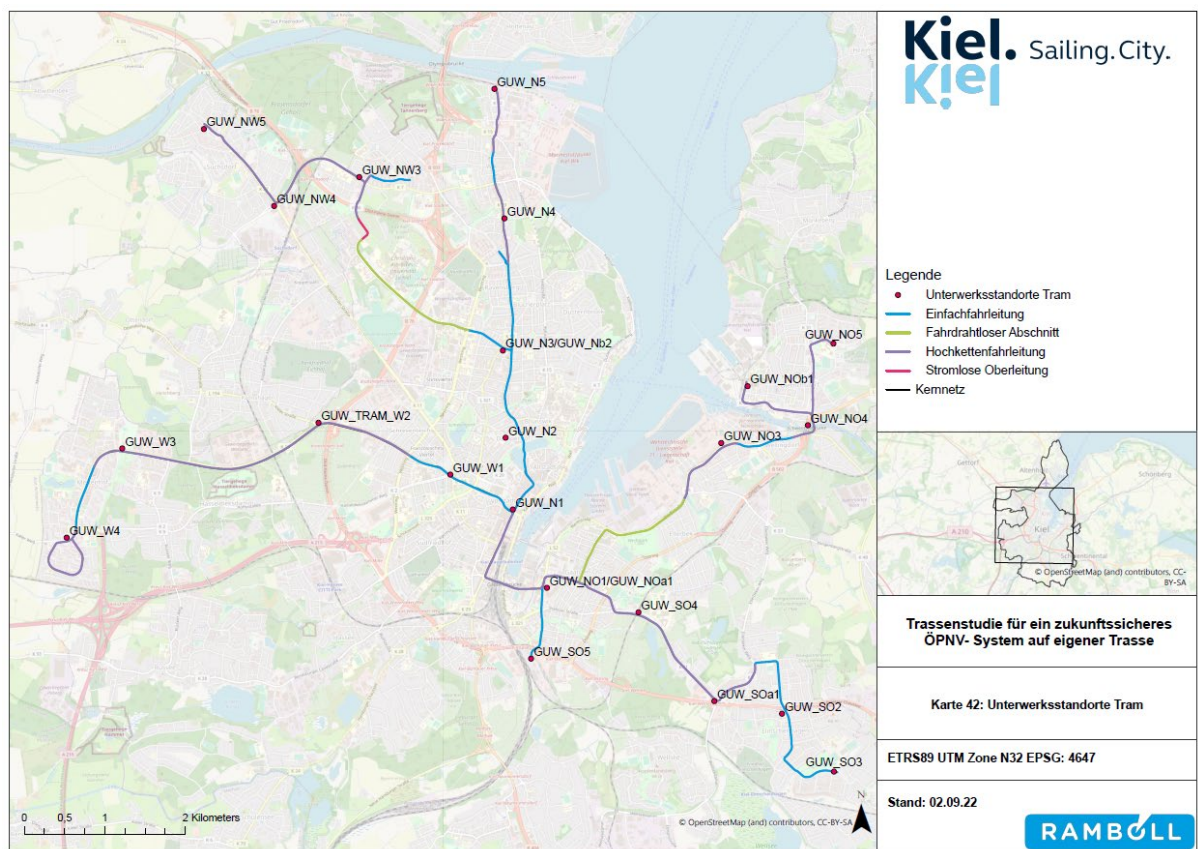


Abbildung 23 Position Gleichrichterunterwerke (GUW) Tram bei Berücksichtigung stromloser Abschnitte

Die folgende Tabelle 1 ordnet die einzelnen GUW aus den beiden vorstehenden Abbildungen den Flurstücken mit ergänzenden Kommentaren zu:

Nr.	GUW	Kommentar	Flurstück
1	GUW_W4	Beste Positionierung in der Gemarkung 25/2	25/2
2	GUW_W3	Südwest nahe Araltankstelle	108/11
3	GUW_BRT_W2	Nur BRT	23/9
4	GUW_TRAM_W2	Nur Tram, südlich des aktuellen Parkplatzes	19
5	GUW_W1	Nur Tram, Südlich des Amtes für soziale Dienste, am Wilhelmsplatz	241
6	<del>GUW_Nb1</del>	Exerzierplatz, kann GUW_W1 ersetzen, wenn Trasse in Knooper Weg	<del>74</del>



Nr.	GUW	Kommentar	Flurstück
		käme. Entfall, da diese Variante nicht verfolgt wird.	
7	GUW_N1	Nur Tram, im Rahmen des städtebaulichen Wettbewerbs Innenstadt zu positionieren bzw. zu berücksichtigen	
8	GUW_N2	Nur Tram, Standort auf Schulparkplatz. Flurstück 40. 230m Speiseleitung notwendig. Alternativ Versenken im Gelände nahe des "Globus".	355
9	GUW_N3/GUW_Nb2	Standort der Shell-Tankstelle oder im Parkplatz Alexadraplatz (versenkt). Standort für Trasse auf Knooper Weg, aber auch Holtenauer Straße machbar. Etwas nach Norden verschoben für BRT.	346, 329 oder 364
10	GUW_NW2	Nur Tram, Pädagogische Hochschule; entfällt bei Erfordernis von stromlosen Abschnitten	39
11	GUW_NW4	Westlich Steenbeker Weg im Mittelstreifen, kann oberirdisch verortet werden	678
12	GUW_NW5	Wie N5 (vorhandene Einrichtungen für Fast Charging der KVG inkl. Mittelspannungsanschluss, Kapazität Zuleitung beachten) am Rungholtplatz	4/396
13	GUW_NW3	Unterbringung im Bereich der Tankstelle.	579
14	GUW_Nd1	Entfällt, da Variante nicht verfolgt wird.	176/23
15	GUW_N5	An dieser Stelle stehen bereits Container für die Fast Charger der KVG inkl. Mittelspannungsanschluss (Kapazität Zuleitung beachten)	28/7
16	GUW_N4	Position in vorhandener Grünanlage.	99/2
17	GUW_NO1/GUW_NOa1	Nur Tram, in den Betriebshof der KVG integrieren. Alternativ unter	261

Nr.	G UW	Kommentar	Flurstück
		der Gablenzbrücke im östlichen Bereich.	
18	G UW_NO2	Am Werftpark Entfällt zu Gunsten eines stromlosen Abschnitts	95
19	G UW_NO3		102/11
20	G UW_NO4	Unter bestehender Brücke oder in neue Schwentinebrücke z.b nördl. Widerlager	11/4
21	G UW_NOb1	In Parkplatz integrieren (gehört zum Seehafen)	45/70
22	G UW_NO5	In Endhaltestelle integrieren.	22/52
23	G UW_SO4	Nur Tram, "integrieren" in/an neue Brücke über die Eisenbahn. G UW ggf. nicht erforderlich. Laut Karte der Stadtwerke ist eine bis zu 500m lange Mittelspannungsleitung notwendig, um das Netz zu erreichen	96
24	G UW_SO1	Entfällt, da Variante nicht verfolgt wird.	425
25	G UW_SOa1	Ggf. Integration in den Hang	406
26	G UW_SO2	Lage im Schutzgrün.	845
27	G UW_SO3	In alte oder neue Haltestellen integrieren. Entlüftung Richtung Straße wg. Anwohnern. Flurstück 537 (alte Wendeschleife, öffentlich), 367 und 431 (nördliche Grünfläche, Privatgrund)	537, 367 und 431
28	G UW_SO5	G UW im Bereich des Betriebshofs, aber separate Einspeisung für die Betriebshofstrecke	

Tabelle 1 Gleichrichterunterwerke Tram und BRT

Im Fall BRT können 7 G UW im Innenstadtbereich wegfallen, was die folgenden Abbildungen zeigen. Sonst ist die Positionierung die gleiche wie für Tram, außer für das G UW\_W2 (Mettenhof), welches weiter in Richtung Mettenhof verschoben werden sollte, da eine längere Strecke mit Oberleitung nicht notwendig ist.

Die folgende Abbildung 24 stellt die aktualisierten und verbleibenden Unterwerksstandorte nach Ermittlung des Vorzugsnetzes BRT (Stand April 2022, Abschichtung im FAR-Verfahren Stufe 1B, siehe Enderbericht Anlage 1) und unter Berücksichtigung der strom- bzw. fahrdrahtlosen Abschnitte dar.

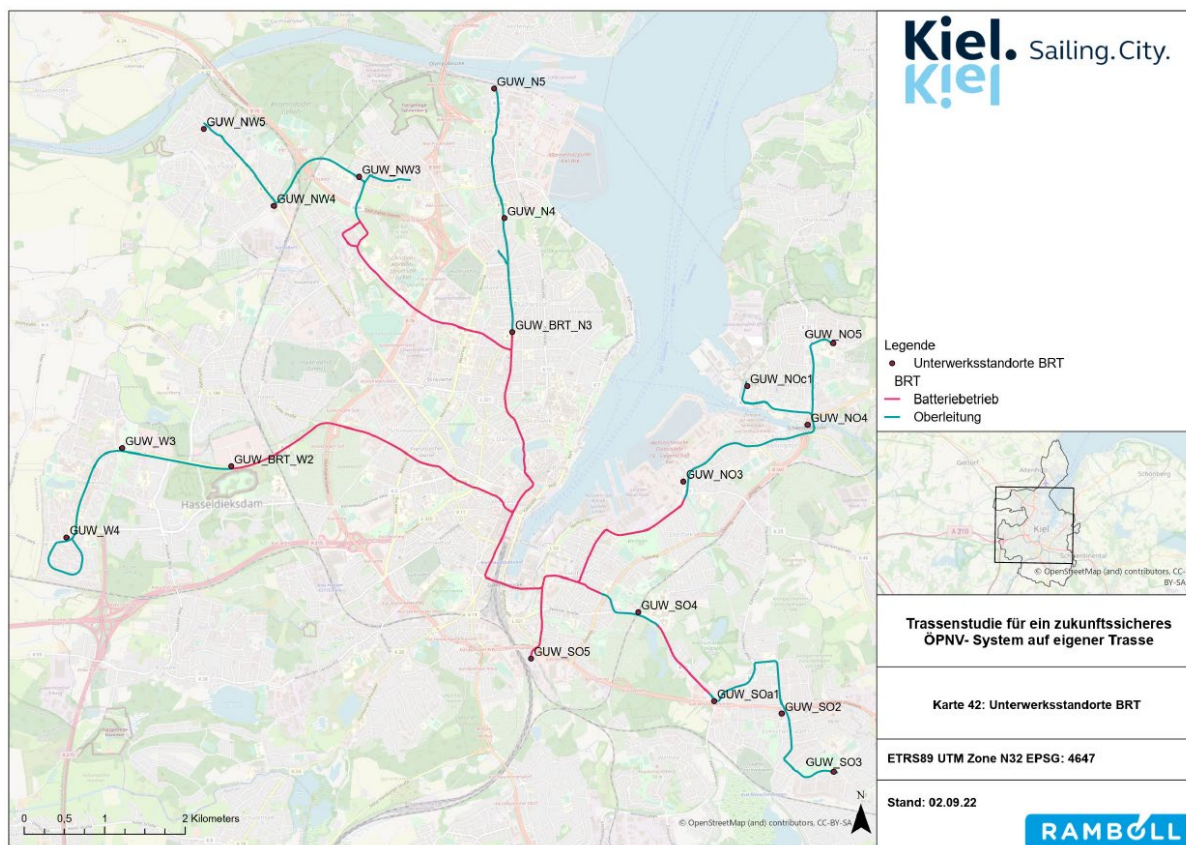


Abbildung 24 Position Gleichrichterunterwerke (GUV) BRT (50km-Netz)

Die Abstimmung mit den Stadtwerken zwischen Oktober und Dezember 2021 hat ergeben, dass besonders im Innenstadtbereich das 10 kV-Mittelspannungsnetz schon sehr ausgelastet ist. Dementsprechend wurde mit den Stadtwerken vereinbart, dass entlang der HÖV-Trasse auf rund 40 % der Länge ein eigenes 10-kV-Mittelspannungskabel verlegt wird und auch in die Kostenschätzung mit eingeht. Dies ist zum aktuellen Planungsstand für alle Abschnitte pauschaliert erfolgt und muss in den nächsten Planungsphasen Vorplanung und Entwurf konkretisiert werden.

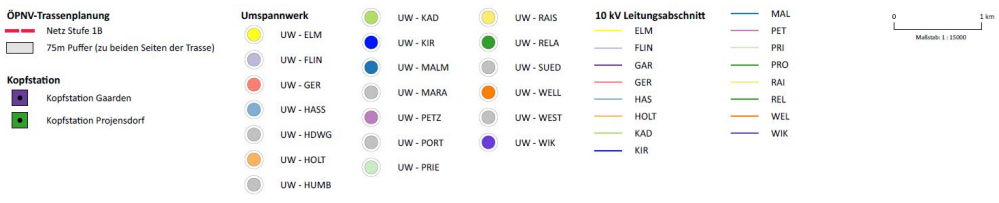
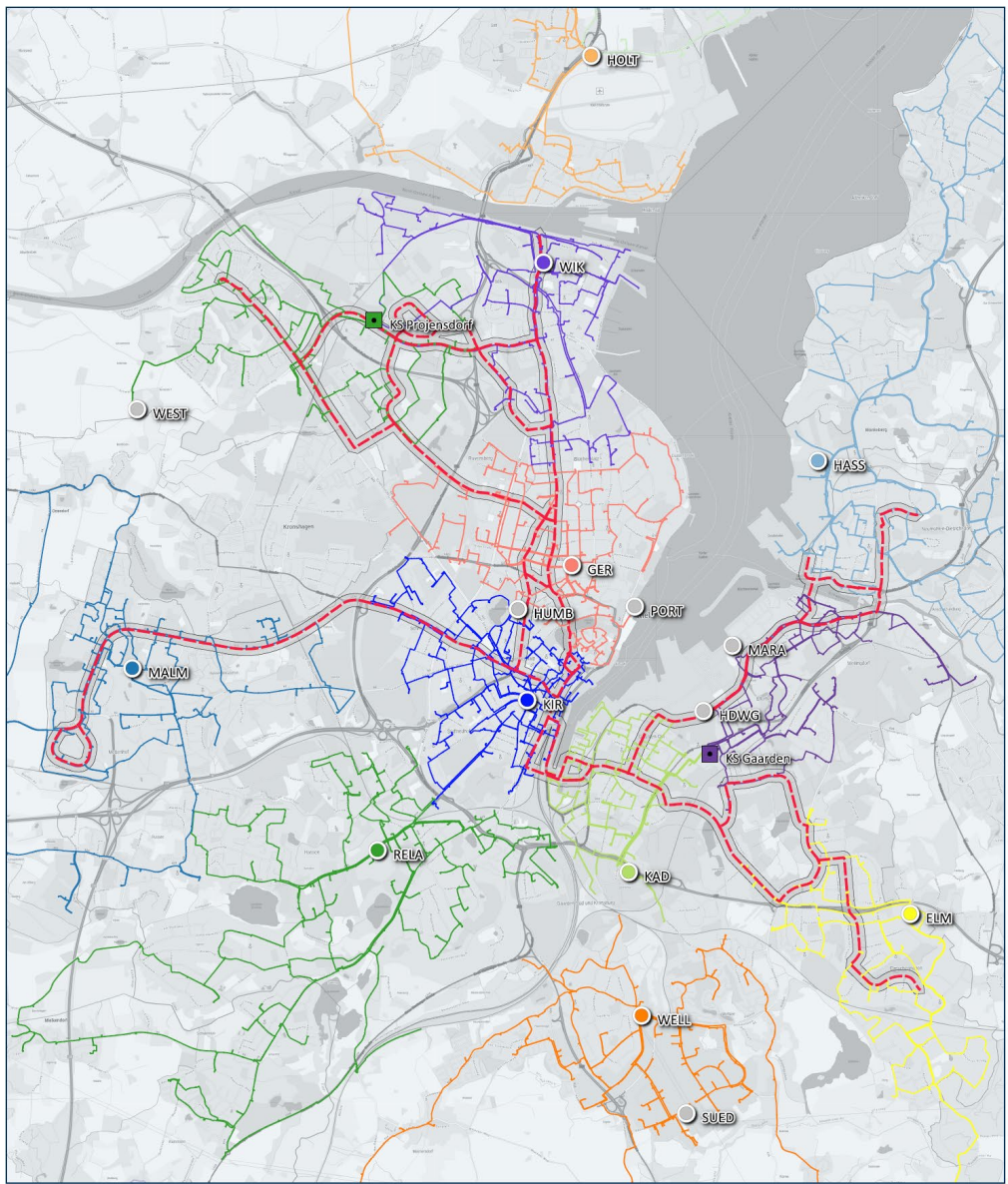


Abbildung 25 10 kV-Mittelspannungsnetz der Stadtwerke Kiel im Zusammenhang mit dem 50 km-Netz Stufe 1B

## 5 Kostenabschätzung

Alle Kosten werden im (siehe Dokumentation AP E-190) als Eingangsgrößen für die Nutzen-Kosten-Untersuchung (Dokumentation AP F-110) zusammengetragen.

Für die gesamten Energieversorgungsanlagen kommen folgende Grundsätze zum Tragen:

### **5.1 Oberleitungsanlagen**

Für die Oberleitungsanlagen werden Kosten je km (Doppel-)Gleis von 600.000 € angesetzt. Diese sind zum aktuellen Stand der Planung sowohl für Einfach- als auch für Hochkettenfahrleitung gleich und können auch bei Einzelgleisen nicht nennenswert reduziert werden.

Hintergrund sind die größeren Mastabstände bei gleichzeitig teurer Fahrleitung bei der Hochkette gegenüber deutlich mehr Masten bei günstigerer Fahrleitung und ggf. zusätzlichen Verstärkerleitungen bei der Einfachfahrleitung.

Der gleiche Betrag kann erfahrungsgemäß auch bei der BRT-Fahrleitung angesetzt werden.

### **5.2 Energieversorgungsanlagen**

Gemäß Abstimmung mit den Stadtwerken Kiel und auf Grund der bereits heute hohen Auslastung des 10 kV Netzes werden auf aktuell geschätzt 40 % der Streckenlänge zusätzliche 10 kV-Ringleitungen für die Straßenbahn oder das BRT auf dessen elektrifizierten Abschnitten erforderlich. Um dies abzubilden, werden je km elektrifizierte Strecke pauschal 120.000 € (40 % von 300.000 € je km) für die 10 kV-Ringleitung angesetzt.

Zum Anschluss der Unterwerke bzw. den Anschluss der Ringleitung an das 10 kV-Netz werden pauschal 300.000 € angesetzt.

Weiterhin wird eine Pauschale für ein Bahnstrommanagementsystem von 500.000 € angesetzt.

Alle Pauschalpositionen sind für das BRT und das Straßenbahnnetz identisch anzusehen.

Die erforderlichen Gleichrichterunterwerke sind von Ihrer Entfernung bei BRT und Straßenbahn gleich anzusetzen, also im elektrifizierten Bereich außerhalb der Innenstadt alle 2 km, in der Innenstadt alle 1 bis 1,5 km. Beim BRT sind nur die elektrifizierten Bereiche zu betrachten.

So ergeben sich 26 Gleichrichterunterwerke für Tram und 20 für BRT, welche den jeweils relevanten Streckenabschnitten kalkulatorisch zugerechnet werden.

Je GUW sind 1.000.000 € (noch ohne Grunderwerbskosten) in der Kostenermittlung zu berücksichtigen. Die bisherigen GUW konnten in der Regel auf Land der Stadt Kiel verortet werden.

### **5.3 50-Hz-Anlagen**

Bei den 50-Hz-Anlagen handelt es sich bei Straßenbahn und BRT schwerpunktmäßig um die Beleuchtungen an den Haltestellen und die Anschlüsse für Fahrausweisautomaten etc.

Die Beleuchtung kann teilweise auch durch die vorhandene Straßenbeleuchtung übernommen werden, dies ist zu einem späteren Planungszeitpunkt abzustimmen. Vor diesem Hintergrund sind die Kosten der 50-Hz-Anlagen in den Kostenpositionen zu Haltestellen sowie im Kostenansatz der Gleichrichterunterwerke enthalten. Zusätzlich sollte für die dynamische Fahrgastinformation (DFI) eine Position von 20.000 € je DFI, also 40.000 € je Haltestelle angesetzt werden.

## 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 35,8 km abgeschichtet.
Abschnitt	Strecken können aus verschiedenen Abschnitten bestehen
Bahnkörper	<p>Fahrweg für Tram</p> <p>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.</p>
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	<p>Bus-Rapid-Transit</p> <p>Fahrbahngebundenes hochwertiges ÖPNV-System auf überwiegend eigener Trasse, in dem meist Doppelgelenkbusse als Fahrzeuge eingesetzt werden</p>
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Design Freeze	Übergabeversion aller relevanten Planunterlagen, an die andere Arbeitspakete wie die Variantenuntersuchung

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



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

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>

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

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 15.09.22