Beraten.
Planen.
Steuern.

Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination (AÖV) Kanton Bern

Auslegeordnung Ein- und Zweirichtungstrams für das Tramnetz Bern

finale Version

2.0

29. September 2020

Bericht-Nr. 2061.237-01

Rapp Trans AG | Ein Unternehmen der Rapp Gruppe
Max-Högger-Strasse 6 | CH-8048 Zürich | T +41 58 595 72 30 | www.rapp.ch

Änderungsnachweis

Version	Datum	Status/Änderung/Bemerkung	Name
0.1	02.07.2020	Erster Entwurf	Oliver Buschor
0.3	16.07.2020	überarbeiteter Entwurf	O. Buschor, M. Steinle
0.6	31.07.2020	vollständiger Berichtsentwurf	O. Buschor, A. Diolaiuti
1.0	09.09.2020	überarbeiteter Schlussbericht	M. Steinle, A. Diolaiuti
1.1	15.09.2020	Zusammenfassung/Fazit angepasst	M. Steinle, A. Diolaiuti
2.0	29.09.2020	finale Version	S. Angliker, A. Diolaiuti

Verteiler dieser Version

Firma	Name	Anzahl/Form
AÖV Kanton Bern	Philipp Mäder	1 / PDF
AÖV Kanton Bern	Christian Aebi	1 / PDF

Projektleitung und Sachbearbeitung

Name	E-Mail	Telefon
Adriano Diolaiuti	adriano.diolaiuti@rapp.ch	+41 58 595 72 37
Michael Steinle	michael.steinle@rapp.ch	+41 58 595 77 37
Jörg Jermann	joerg.jermann@rapp.ch	+41 58 595 77 38
Oliver Buschor	oliver.buschor@rapp.ch	+41 58 595 72 45
Stefan Angliker	stefan.angliker@rapp.ch	+41 58 595 72 44
Stefan Schneider	stefan.schneider2@rapp.ch	+41 58 595 79 58

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung **2**

1 Ausgangslage **5**
1.1 Bisherige Arbeiten / Grundlagen 5
1.2 Ziel des Berichts 5

2 Auslegeordnung Ein- und Zweirichtungsfahrzeuge **6**
2.1 Tramsysteme in anderen Städten 6
2.2 Systemvergleich 8
2.3 Fahrzeugmerkmale 9
2.4 Systemgrundsätze 10

3 Wirtschaftliche und betriebliche Aspekte der beiden Fahrzeugsysteme **11**
3.1 Fahrgastkomfort und Fahrzeugkapazität 11
3.2 Effizienz im Betrieb 12
3.3 Wirtschaftliche Aspekte (Investition, Betrieb und Unterhalt) 19
3.4 Zwischenfazit 21

4 Infrastrukturelle Abhängigkeiten und deren Auswirkungen auf den Betrieb **21**
4.1 Infrastrukturelemente und deren Kosten 22
4.2 Endhaltestellen 26
4.3 Betriebliche Auswirkungen 36

5 Migration des heutigen Tramnetzes anhand zweier Szenarien **36**
5.1 Szenario 1: Teilweise Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge 37
5.2 Szenario 2a: Vollständige Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge mit weitgehendem Ersatz von Wendeschlaufen durch Kehranlagen 44
5.3 Szenario 2b: Vollständige Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge bei Beibehaltung bestehender Wendeschlaufen 49
5.4 Beurteilung der Szenarien 50

6 Fazit **53**

Quellenverzeichnis **55**

Anhang **56**

Glossar / Definitionen:

Wendeschlaufe = Schlaufe zur Fahrtrichtungsänderung

Kehranlagen = Wendemöglichkeit über Gleiswechsel für Zweirichtungsfahrzeuge

ZRF = Zweirichtungsfahrzeug

ERF = Einrichtungsfahrzeug

BehiG = Behindertengleichstellungsgesetz

MIV = Motorisierter Individualverkehr

LV = Langsamverkehr (Fussgänger, Velos etc.)

LSA = Lichtsignalanlage

TBO = Tram Bern Ostermundigen

GAB = Gelenkautobus

HVZ = Hauptverkehrszeit

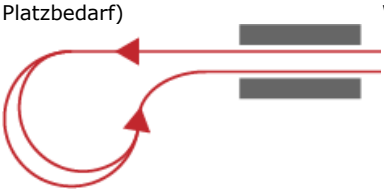
Zusammenfassung

Am 2. September 2019 wurde eine Motion im Grossen Rat des Kantons Bern eingereicht, die eine Auslegeordnung zum Vergleich von Ein- und Zweirichtungstramfahrzeugen sowie eine Darlegung, wie das heutige Mischsystem auf ein reines Zweirichtungssystem umgewandelt werden könnte, fordert. Der vorliegende Bericht beantwortet diese Fragen und skizziert anhand von Szenarien den Wechsel zu einem teilweisen bzw. vollständigen Zweirichtungssystem.

Tramnetze, die historisch gewachsen sind, basieren zumeist auf Einrichtungsfahrzeugen (Basel, Zürich, Bratislava). In den letzten Jahren neu erstellte Netze, die häufig auch etappenweise realisiert werden, basieren zumeist auf Zweirichtungsfahrzeugen (Nizza, Barcelona).

Die Thematik Ein-/Zweirichtungstrams ist sehr vielschichtig, die Vor- und Nachteile der Fahrzeugtypen hängen neben den Eigenschaften der Fahrzeuge selbst von zahlreichen weiteren Faktoren ab, die eine eindeutige Beurteilung der Typen erschweren. Eine Beurteilung muss immer im lokalen Kontext und im Zusammenspiel mit der Infrastruktur stattfinden.

Ein System mit Einrichtungsfahrzeugen (ERF) ist äusserlich primär durch den Zwang von Wendeschlaufen für die Richtungsänderung der Fahrzeuge gekennzeichnet, während für Zweirichtungsfahrzeuge (ZRF) Wendeanlagen mit tendenziell geringerem Platzbedarf den Richtungswechsel der Tramzüge erlauben. In der folgenden Tabelle sind einige grundlegende Unterschiede von Ein- und Zweirichtungsfahrzeugen und der damit verbundenen Infrastruktur aufgeführt:

Element	Einrichtungsfahrzeug	Zweirichtungsfahrzeug
Form der Haltestellen	Aussenperrons	Aussen- oder Inselperrons
Wendeanlagen	Wendeschlaufe (tendenziell grösserer Platzbedarf) 	Kehranlage (tendenziell geringerer Platzbedarf) oder Wendeschlaufe
Kapazität	Gesamthaft höhere Beförderungskapazität, da mehr Raum für flexible Nutzung[1].	Tiefere Anzahl Sitzplätze, dafür mehr Stehfläche
Fahrgastwechsel	schneller, da mehr Türen pro Seite	verzögert, da weniger Türen pro Seite
Türanordnung	Nur einseitig	Beidseitig
Führerstände	1	2

Die höhere Anzahl Sitzplätze und deren mehrheitliche Ausrichtung in Fahrtrichtung beim ERF wirken sich im Vergleich mit dem ZRF positiv auf den Fahrgastkomfort aus. Aufgrund des höheren Gewichts benötigen die ZRF leicht mehr Strom als die ERF. Für die Flotte von 20 ZRF entspricht dies rund 1 % des jährlichen Energieverbrauchs der heutigen Tramflotte von Bernmobil.

[1] Durch die nur einseitige Türanordnung besteht mehr Raum zur flexiblen Nutzung, sei es als zusätzliche Sitzplätze, Multifunktionsabteile oder für Stehplätze. Beim Zweirichtungstram entsteht durch die beidseitige Türanordnung zwangsläufig mehr Stehfläche.

Bei der Beschaffung muss man für ZRF von rund 10 % höheren Beschaffungskosten ausgehen, dafür sind primär der zweite Führerstand sowie die zusätzlichen Türen verantwortlich. Diese zusätzlichen Komponenten sind auch verantwortlich für die leicht höheren Instandhaltungskosten von ca. 0.1 Fr./km[2], auf den Lebenszyklus bezogen resultieren somit um rund 210'000 CHF höhere Kosten für das ZRF.

ZRF haben den grossen Vorteil, dass sie im Betrieb flexibler einsetzbar sind. Sie können, unabhängig von der Wendeinfrastruktur, auf dem ganzen Netz von Bernmobil eingesetzt werden und ermöglichen bei Betriebsunterbrüchen auf möglichst grossen Teilen des Netzes einen Restbetrieb mit Trams aufrecht zu erhalten. Damit kann die vorzuhaltende Flotte an Gelenkautobussen für den Ersatzbetrieb klein gehalten werden.

Kehranlagen, welche dieselben Anforderungen wie eine Wendeschlaufe erfüllen sollen und den betrieblichen Rahmenbedingungen des Berner Netzes entsprechen, sind preislich vergleichbar mit den Wendeschlaufen. Im Normalfall benötigen Kehranalgen jedoch weniger Fläche, was insbesondere für Betriebskehranlagen gilt, sofern diese in das bestehende Trasse eingefügt werden können. Die städtebauliche Integration von Kehranalagen hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten ab, ist jedoch in der Regel einfacher zu erreichen, da sie grundsätzlich im vorhandenen Strassenraum untergebracht werden können. Dies ist für Wendeschlaufen nur möglich, wenn über mehrere Strassenzüge eine Bebauung umfahren werden kann. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine betrieblich flexibel nutzbare Kehranlage eine erhebliche Länge von ca. 200 m erreicht, was ähnlich herausfordernd in der Realisierung sein kann, wie die Unterbringung einer Wendeschlaufe. Zudem muss an der Endhaltstelle die Möglichkeit bestehen, dass Busse – zum Beispiel bei einem Ersatzbetreib – wenden können.

Kehranlagen für Endhaltestellen müssen zwingend im Eigentrassee realisiert werden, Betriebskehranlagen können grundsätzlich auch im Mischverkehrstrassee liegen, bedürfen aber umfassender Sicherungsmassnahmen zur Regelung des MIV.

Die Vorteile können Kehranlagen insbesondere bei neu zu erstellenden Linien ausspielen, da diese einfacher etappiert gebaut werden können. Eine einfache Kehranlage ist günstig zu bauen und kann im Eigentrassee als temporäre Endhaltestelle, später als Betriebskehranlage dienen. Dies ist einer der Gründe, warum neu entwickelte Tramsysteme häufig auf Zweirichtungsfahrzeugen basieren.

Der Richtungswechsel an einer Wendeschlaufe benötigt weniger Zeit als auf einer Kehranlage. Mit dem schnelleren Fahrgastwechsel des ERF aufgrund der höheren Anzahl Türen kann mit ERF ein stabilerer Betrieb gewährleistet werden. Die längeren Kehrzeiten, der tendenziell verzögerte Fahrgastwechsel sowie die geringere Kapazität des ZRF können zu einem Mehrbedarf an Fahrzeugen für die gleiche Bedienqualität führen.

Anhand der Szenarien zum Wechsel des heutigen Mischsystems auf ein reines Zweirichtungssystem konnte gezeigt werden, dass ab einer Anzahl von ca. 30 ZRF eine Schwelle erreicht ist, ab welcher jedes weitere ZRF aus betrieblicher Sicht keinen zusätzlichen Nutzen mehr generiert. Das bedeutet, es können keine weiteren Verbesserungen in der Aufrechterhaltung des Restbetriebes oder der Verringerung der Gelenkbusflotte für den Ersatzbetrieb realisiert werden, jedoch kann der Restbetrieb bei einer reinen ZRF-Flotte ggf. auch bei ungeplanten Unterbrüchen kurzfristig aufgezogen werden, weil keine «gefangenen» ERF die Strecken blockieren.

[2] Bei einer Laufleistung von 70'000 km/Jahr.

Im Szenario einer Umstellung auf ein vollständiges Zweirichtungssystem könnten sämtliche Wendeschlaufen durch Kehranlagen ersetzt werden und dadurch Landgewinne erzielt werden. Es konnte aber aufgezeigt werden, dass dies kaum sinnvoll ist, da die optimierte Landnutzung die Investitionskosten neuer Kehranlagen nur teilweise decken könnte.

Abschliessend kann gesagt werden, dass es nicht sinnvoll erscheint, das bestehende Tramnetz in ein komplettes Zweirichtungssystem umzustellen. Auch bei einer Beibehaltung der existierenden Wendeschlaufen erreicht die Maximierung der betrieblichen Flexibilität eine Schwelle, ab welcher jedes weitere ZRF keinen betrieblichen Nutzen mehr bringen könnte. Die Möglichkeit einer Monetarisierung der Landgewinne bei Aufhebung der Wendeschlaufen entfiele dabei und den Mehrkosten bei Beschaffung, Instandstellung und Energie stünden keine weiteren Vorteile gegenüber.

1 Ausgangslage

Das historisch gewachsene Tramnetz von Bernmobil weist an allen Endhaltestellen Wendeschlaufen auf und ist für Einrichtungsfahrzeuge (ERF) konzipiert. Ausnahme war bis 2010 der Abschnitt Zytglogge – Egghözli, welcher von der RBS-Linie G Bern – Gümligen – Worb Dorf mitbenutzt und mit Zweirichtungsfahrzeugen (ZRF) betrieben wurde. Seit der Integration der Linie ins städtische Tramnetz und der Verlängerung nach Fischermätteli wird diese im Mischbetrieb bedient.

Die in den letzten Jahrzehnten geplanten und teilweise auch schon realisierten Tramnetzerweiterungen sind allesamt mit Wendeschlaufen ausgestattet. Da Wendeschlaufen für Einrichtungstrams in Zentrumsnähe weggefallen sind oder nicht realisiert werden können, wurde entschieden, möglichst zentrumsnah Kehranlagen für ZRF zu realisieren, um bei geplanten Netzunterbrüchen gleichwohl einen Trambetrieb auf Teilnetzen aufrechterhalten zu können. Dafür und für den kompletten Betrieb der Linie 6 mit ZRF wurden im Rahmen der letzten Trambeschaffung neben ERF auch ZRF bestellt.

Längerfristig stehen weitere Ausbauschritte des Berner Tramnetzes zur Diskussion. Im Rahmen der aktuellen Planungen, Diskussionen um Erweiterungen und Fahrzeugbeschaffungen sowie der Debatte um Kulturlandbedarf von Infrastrukturanlagen, wurde im Grossen Rat des Kantons Bern eine Motion teilweise überwiesen, die vom Regierungsrat fordert, eine unabhängige Auslegeordnung zum Vergleich von ERF und ZRF vorzunehmen. Rapp Trans AG wurde mit dieser Expertise zum Vergleich der zwei Fahrzeugsysteme beauftragt.

1.1 Bisherige Arbeiten / Grundlagen

Der im Oktober 2018 publizierten Ausschreibung für 20 neue ZRF und 7 ERF für Bernmobil sind umfangreiche Studien zu den jeweiligen Vor- und Nachteilen inkl. Überlegungen zum möglichen Restbetrieb bei geplanten Unterbrüchen im Tramnetz vorausgegangen. Diese bilden eine wichtige Grundlage.

Für die vorliegende Auslegeordnung werden auch Erkenntnisse aus anderen Städten, welche in ihren Tramnetzen ZRF einsetzen, herangezogen. So auch die Studie, auf welcher der damalige Entscheid des Zürcher Regierungsrates, die neue Limmattalbahn als Zweirichtungssystem zu erstellen, basiert. Es ist jedoch grundsätzlich anzumerken, dass solche Systementscheide jeweils vor dem Hintergrund der Eigenheiten und spezifischen Rahmenbedingungen des jeweiligen Netzes erfolgen und daher kaum allgemeine Schlussfolgerungen zulassen.

1.2 Ziel des Berichts

Das Ziel dieses Berichts besteht darin, zuhanden der Entscheidungsträger eine fachlich basierte Grundlage zu den Vor- und Nachteilen des Einsatzes von ERF und ZRF im Tramnetz Bern zu liefern. Es sollen ganzheitliche Argumente und Entscheidungshilfen vorliegen, um die anstehenden parlamentarischen Diskussionen im Grossen Rat zu Traminfrastrukturprojekten faktenbasiert führen zu können. Der fachliche Fokus der Expertise richtet sich auf ERF und ZRF sowie deren systematische Unterschiede. Inhaltlich werden die Vor- und Nachteile der beiden Fahrzeugsysteme bezüglich infrastruktureller Konsequenzen wie Wendemöglichkeiten sowie planerischer, betrieblicher und operativer Aspekte diskutiert. Weiter werden die Wirtschaftlichkeit und die Möglichkeiten der Netzgestaltung und Erweiterung unter den beiden Systemen genauer betrachtet. Die systemischen Zusammenhänge und Interdependenzen

stehen dabei im Vordergrund. Dabei soll die Expertise Abhängigkeiten zwischen den Fahrzeugsystemen und den Netzanforderungen aufzeigen, ohne die Detailplanung von Netzanpassungen vorwegzunehmen.

Der vorliegende Bericht gliedert sich in eine fachbasierte Auslegeordnung der Vor- und Nachteile der beiden Fahrzeugsysteme, gefolgt von den infrastrukturellen Abhängigkeiten und deren Auswirkungen auf den Betrieb. Schliesslich werden zwei Szenarien zur Umstellung des heutigen Tramsystems in Richtung eines gemischten oder reinen Zweirichtungssystems sowie deren Beurteilung aus verschiedenen Blickwinkeln (Fahrgast, Betrieb, Kostenträger und Öffentlichkeit) betrachtet.

2 Auslegeordnung Ein- und Zweirichtungsfahrzeuge

Tramlinien haben zum Ziel, in einem bestimmten geographischen Raum möglichst viele Passagiere zeitlich wie örtlich angemessen und in guter Qualität zu bedienen. Um ein Optimum an Erschliessungsgüte erreichen zu können, sind das Liniennetz und der Fahrplan unter gegebenen infrastrukturellen Rahmenbedingungen planerisch optimal auszugestalten.

Ebenfalls bereits im Stadium der Planung sind betriebliche Randbedingungen des täglichen Betriebs wie Störungen oder Bauarbeiten in der Konzeption des Liniennetzes und der Infrastrukturen zu berücksichtigen. Für die spätere operative Umsetzung sind die zugrunde gelegten Fahrzeugsysteme – hier ERF oder ZRF – von entscheidender Bedeutung. Daher überrascht es nicht, dass in einer kurzen Literaturrecherche keine wissenschaftlichen Publikationen gefunden wurden, welche sich mit dieser Thematik auseinandersetzen.

2.1 Tramsysteme in anderen Städten

In der folgenden Auflistung wird eine Auswahl aus verschiedenen Tramsystemen in anderen Städten kurz beschrieben und aufgelistet. Dabei gilt der Fokus der Beschreibung auf die unterschiedlichen Betriebsweisen im Einrichtungs- beziehungsweise Zweirichtungsverkehr.

- Nizza, Frankreich:
  Das Tramnetz in Nizza besteht heute aus drei Linien, wobei die erste im Jahr 2007 eröffnet wurde. Seither sind etappenweise weitere Streckenteile der Linien 2 und 3 in Betrieb genommen worden und die Bauarbeiten konnten im Jahr 2019 abgeschlossen werden. Alle Linien werden mit ZRF des Typs Citadis vom Hersteller Alstom betrieben. Das relativ moderne Strassenbahnnetz wurde von Grund auf neu erstellt und die einzelnen Abschnitte, sobald sie fertig erstellt waren, etappenweise an das Netz angehängt. Explizite Informationen zum Systementscheid liegen nicht vor. Aufgrund der etappenweisen Inbetriebnahme und der knappen Platzverhältnisse im urbanen Raum ist jedoch der Systementscheid zugunsten von ZRF naheliegend (Wikipedia, 2020d).

- Bratislava, Slowakei
  Ähnlich wie in Bern verkehrt in Bratislava eine Strassenbahn auf einem historisch gewachsenen Netz. Mit einem ununterbrochenen Betrieb seit 1895 gehört dieses zu den ältesten der Welt. Eine weitere Ähnlichkeit ergibt sich aus dem Mischverkehr von ERF und ZRF, sowie der Neubeschaffung von je 30 ERF und ZRF im Jahr 2015. Gesamthaft besitzt das Tramnetz 8 Wendeschlaufen. Während auf den älteren Teilen des Netzwerks, mit bestehenden Wendeschlaufen, hauptsächlich ERF verkehren, werden die ZRF auf dem neueren Teil des Netzwerks eingesetzt, auf denen keine Wendeschlaufen erstellt wurden. Für

Linien mit ERF entschied man sich, die Flotte systemgleich zu ersetzen, da die Fahrzeuge vom Typ 29T vom Hersteller Skoda um 7% günstiger sind als die ZRF desselben Herstellers. Für die neu erstellten, sowie die geplanten Tramlinien entschied man sich für ein Zweirichtungssystem, da die Kosten für die Wendeschlaufen die Mehrkosten für die Beschaffung von ZR-Fahrzeugen übersteigen würden. Zudem sind sie flexibler einsetzbar bei geplanten Streckenunterbrüchen in Folge Bauarbeiten an der Infrastruktur (Michlík, 2020).

- Zürich, Schweiz
  Die Strecken des Zürcher Tramnetzes wurden Ende des 19. und Anfangs des 20. Jahrhunderts mehrheitlich einspurig errichtet und daher anfänglich mit ZRF betrieben. 1909 wurde die erste Wendeschlaufe eingerichtet, um den Betriebsablauf zu vereinfachen (kein Umfahren der Anhängewagen mehr an den Endstationen) und seit 1929 wurden nur noch ERF beschafft sowie die bestehenden Strecken sukzessive auf Doppelspur ausgebaut. (Wikipedia, 2020c). Auch die neuste Fahrzeuggeneration, das Flexity Zürich, ist wiederum ein ERF. Ein Systemwechsel steht in der Stadt Zürich entsprechend nicht im Vordergrund.

- Limmattalbahn, Schweiz
  Während der gesamte innerstädtische Tramverkehr in Zürich im Einrichtungsbetrieb betrieben wird, entschied man sich für einen reinen Zweirichtungsbetrieb bei der Limmattalbahn, die Altstetten und Spreitenbach verbindet. Sie wird in mehreren Etappen erstellt, was bei einem Betrieb mit ERF zur Folge hätte, dass mehrere zusätzliche Wendeschlaufen in dichtem und urbanem Gebiet hätten erstellt werden müssen. Im Vorfeld beschäftigte sich der Regierungsrat mit dem System-Thema und liess durch ein unabhängiges Verkehrsbüro drei unterschiedliche Systeme untersuchen (Pneutram, ERF und ZRF). Die Untersuchung sollte Aufschluss darüber geben, welches System unter den gegebenen Rahmenbedingungen das geeignetste ist. Ein Zwischenergebnis zeigte, dass die beiden Systeme ERF und ZRF nahe beieinander liegen und die Gewichtung der Indikatoren hohen Einfluss auf das Resultat hatten. Das Pneutram wurde aufgrund der hohen finanziellen und technischen Risiken verworfen. In einer zweiten Untersuchung wurden ERF und ZRF Systeme genauer überprüft. Der Platzbedarf von Wendeschlaufen ist erheblich und wäre in Killwangen nicht umsetzbar gewesen. Schlussendlich fiel der Systementscheid aufgrund Projektierungsgründen zugunsten der ZRF aus (Regierungsrat des Kantons Zürich, 2009; SMA und Partner AG, 2009; Kantke Leuppi, 2020).

- Basel, Schweiz
  Das Basler Tramnetz wurde 1895 als reines Einrichtungsnetz eröffnet. Seither wurde dieses kontinuierlich ausgebaut. Heute umfasst es 13 Linien, von denen sich einige auch ins nahegelegene Ausland (Deutschland und Frankreich) und den angrenzenden Kantonen Basel-Landschaft und Solothurn erstrecken. Die Basler Verkehrsbetriebe (BVB) betreiben gegenwertig neun, die Baselland Transport AG (BLT) vier der Linien. 33 Wendeschlaufen ermöglichen einen ausschliesslichen Betrieb mit ERF der Hersteller Schindler, Siemens und Bombardier (Basler Verkehrsbetriebe, 2019; Wikipedia, 2020b).

- Genf, Schweiz
  In Genf wird noch bis 2030 ein Mischbetrieb von Ein- und Zweirichtungsfahrzeuge betrieben, wobei die ERF nur auf der Linie 12 eingesetzt werden können da, nur auf dieser Linie Wendeschlaufen an beiden Enden vorhanden sind. Gemäss dem Betreiber ist die benötigte Zeit für den Fahrgastwechsel bei beiden Systemen gleich. Die Wendezeit an

Endhaltestellen mit ZRF betragen 2 Minuten gegenüber 1 Minute mit ERF. Es bleibt anzumerken, dass sich die Wendeschlaufen in Gegenden mit geringerer geometrischer Komplexität befinden und die betrieblichen Anforderungen tiefer sind als es in Bern der Fall ist. Neben den Vorteilen der flexibleren Ausgestaltung der Haltestellen, der höheren Flexibilität im Störungsfall und dem geringeren Platzbedarf von Kehranlagen sind die geringeren Infrastrukturkosten des Zweirichtungssystem massgebend, dass künftige Netzerweiterungen ohne Wendeschlaufen erstellt werden. Die Einsparungen bei den Infrastrukturkosten sind dabei höher als die zusätzlichen Kosten für die ZRF. In Genf ist es nicht das Netz, das sich an das Rollmaterial anpassen muss, sondern das Rollmaterial, das sich an das Netz anpassen muss. Um in Zukunft zudem alle Fahrzeuge auf allen Linien einsetzen zu können, wird der gesamte Trambetrieb ab dem Jahr 2030, wenn die Lebensdauer der vorhandenen ERF erreicht ist, auf ZRF ausgelegt (Fankhauser, 2020).

- Bochum – Gelsenkirchen, Deutschland:
  Die Strassenbahn Bochum/Gelsenkirchen stellt ein seit 1894 gewachsenes Zweirichtungsnetz dar. Trotz Erweiterung vieler eingleisiger Führungen zu zweigleisigen Strecken nach dem Zweiten Weltkrieg wurde an dem Konzept mit ZRF festgehalten. Später sollte die in den 1970er Jahren gebaute U-Stadtbahn die Strassenbahn komplett ersetzen. Letztlich wurden aber nur zwei Strecken der Strassenbahn stillgelegt, die anderen realisierten Tunnelbauten werden nun auf Dauer von den Strassenbahnen genutzt. An den Endhaltestellen wird die Fahrtrichtung in der Regel in einem Stumpfgleis geändert, lediglich an einer Haltestelle dient eine Wendeschlaufe der Richtungsänderung (Kollmann, 2020; Wikipedia, 2020a).

2.2 Systemvergleich

Der Trambetrieb im Berner Netz wird im Mischverkehr von ERF und ZRF betrieben. Sämtliche Linien des innerstädtischen, historisch gewachsenen Tramnetztes (heutige Linie 3 sowie 7 bis 9) werden mit Einrichtungstrams betrieben. Mit der Integration der Linie G ins städtische Tramnetz, welche als traditionelle Vorortsbahn seit jeher mit ZRF betrieben wird, führt sie seit 2010 nicht nur bis zur Haltestelle Zytglogge, sondern wird als Tramlinie 6 bis Fischermätteli durchgebunden.

Während ERF mit einer einzelnen Führerkabine und mit Türen auf einer Seite ausgestattet sind, haben ZRF je eine Führerkabine an beiden Enden sowie Türen auf beiden Seiten. Aufgrund dieser zusätzlichen Komponenten sind ZRF teurer in der Beschaffung und im Unterhalt. Im Gegenzug sind ZRF im regulären und im gestörten Betrieb flexibler einsetzbar, da sie beidseitig Haltekanten anfahren können und auch im Linienbetrieb in beide Richtungen verkehren können. Neben diesen intuitiven Eigenschaften besitzen die zwei Fahrzeugtypen eine Vielzahl an Unterschieden.

Mit der folgenden Auslegeordnung werden die zwei unterschiedlichen Systeme miteinander verglichen, mit dem Ziel, eine gute Sicht auf das Ganze zu erhalten. Dabei erfolgen die Betrachtung und Beurteilung der Systeme aus der Perspektive der relevanten Stakeholder:

- **Kostenträger:** Die finanziellen Auswirkungen auf den Kostenträger, die je nach angewandtem System unterschiedlich ausfallen können, werden unter diesem Standpunkt wiedergespiegelt.
- **Fahrgast:** Der Fahrgast als Kunde der Strassenbahn hat hohe Anforderungen und fordert Standards. Dieser Standpunkt beurteilt die Systeme aus derer Sichtweise.

- **Öffentlichkeit und Städtebau:** Die unterschiedlichen infrastrukturellen Elemente der beiden Systeme sollen sich so gut wie möglich in den öffentlichen Raum und das Stadtbild eingliedern.
- **Betrieb:** Systementscheide beeinflussen den täglichen Betrieb genauso wie deren langfristige Planung. Diesbezüglich behandelt dieser Standpunkt die zu erwartenden und bereits beobachteten Auswirkungen.

Um diese Perspektiven (in den nachfolgenden Tabellen «Fokus» genannt) angemessen zu repräsentieren, werden die Systemtypen aufgrund der folgenden, für die Stakeholder als zentral erachteten Kriterien, miteinander verglichen und qualitativ beurteilt.

- Fahrgastkomfort und Fahrzeugkapazität in Kap. 3.1
- Effizienz im Betrieb in Kap. 3.2
- Wirtschaftlichkeit der Systeme in Kap. 3.3

Relevant sind des Weiteren die infrastrukturellen Abhängigkeiten, welche gesondert in Kap. 4 bezüglich Erstellungs- und Unterhaltskosten in grösserer Detailtiefe betrachtet und anhand eines Beispiels erläutert werden.

2.3 Fahrzeugmerkmale

Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den Einrichtungs- und Zweirichtungs-Tramlinks der Firma Stadler Rail[3]. Wesentliche Unterschiede weisen die Fahrzeugtypen in drei Merkmalen auf. Erstens fällt bei den ERF der zweite Führerstand weg, was zu etwas mehr Passagiernutzfläche führt. Zweitens unterscheiden sich die Türanordnungen der Tramlinks; ERF bedürfen nur Türen in Fahrtrichtung rechts, ZRF hingegen beidseitig. Dies führt, drittens, bei ZRF zu weniger verfügbarem Platz für Sitzplätze, dafür mehr freien Flächen vor den Türen (v.a. Wagenteil 2 und 6). Bei einer Stehplatzauslastung von 2 Personen/m^2 weisen ERF 71 Sitz- und 94 Stehplätze vor, ZRF deren 56 (Sitzplätze) und 100 (Stehplätze).

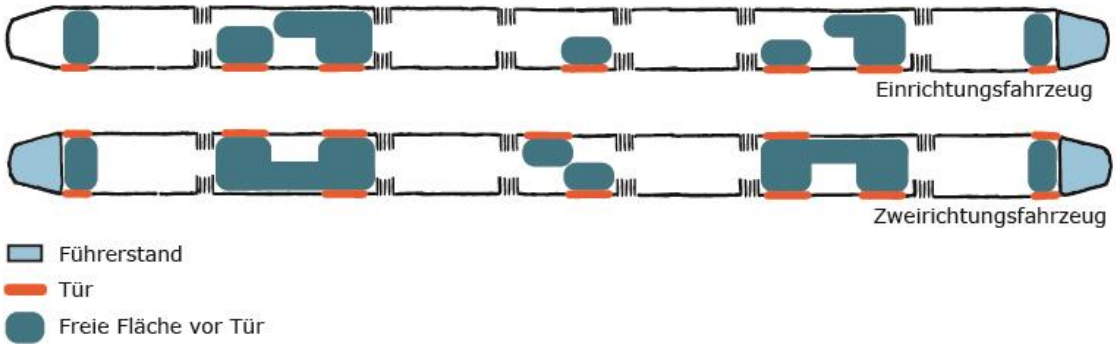


Abbildung 1: Typenskizze ERF / ZRF, Quelle: eigene Darstellung

[3] Bernmobil hat im Dezember 2019 bei Stadler 20 ZRF sowie 7 ERF des Typs TRAMLINK bei Stadler bestellt. Sowohl das Einrichtungs- als auch das Zweirichtungsfahrzeug bauen auf dem gleichen Grundkonzept auf und unterscheiden sich somit lediglich hinsichtlich der spezifischen Komponenten für Ein- und Zweirichtungsbetrieb.

2.4 Systemgrundsätze

Im Folgenden sollen kurz die wesentlichen Elemente von Ein- und Zweirichtungsfahrzeugen und der auf die jeweiligen Fahrzeugsysteme ausgerichteten Infrastrukturen erläutert werden. Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in den Kap. 3 und 4.

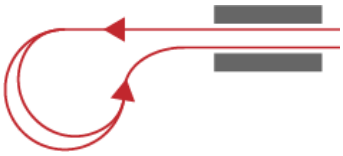
Element	Einrichtungsfahrzeug	Zweirichtungsfahrzeug
Form der Haltestellen	Aussenperrons	Aussen- oder Inselperrons
Wendeanlagen	Wendeschlaufe (tendenziell grösserer Platzbedarf) 	Kehranlage (tendenziell geringerer Platzbedarf) oder Wendeschlaufe
Kapazität	Gesamthaft höhere Beförderungskapazität, da mehr Raum für flexible Nutzung[4]	Tiefere Anzahl Sitzplätze, dafür mehr Stehfläche
Fahrgastwechsel	schneller, da mehr Türen pro Seite	verzögert, da weniger Türen pro Seite
Türanordnung	Nur einseitig	Beidseitig
Führerstände	1	2

Tabelle 1: Systemgrundsätze von Ein- und Zweirichtungstrams

Die Haltestelleninfrastruktur von Bernmobil ist vollständig auf ERF ausgelegt, d.h. sämtliche Haltestellen sind mit Aussenperrons ausgestattet und Umbauten bestehender Haltestellen auf Mittelperron sind derzeit nicht vorgesehen. Für den Systemvergleich wird daher davon ausgegangen, dass auch mit ZRF keine wechselseitigen Türöffnungen erfolgen. Andernfalls wird dies explizit erwähnt.

Die in Fahrtrichtung linken Türräume werden in ZRF auch als Stehplatzzone und Stauraum genutzt. Bei wechselseitiger Türöffnung, wie dies bei einer rein mit ZRF betriebenen Linie beim Bau neuer Haltestellen mit Mittelperron denkbar wäre, ist dies nicht mehr praktikabel bzw. vor den Türen stehende Personen und Gegenstände behindern und verzögern den Fahrgastwechsel erheblich. Folglich müssten längere Halte- und Umlaufzeiten eingeplant werden. Bei gleichem Taktintervall und gleicher Linienlänge wären im Vergleich zum Betrieb mit einseitiger Türöffnung daher zusätzliche Fahrzeuge notwendig.

[4] Durch die nur einseitige Türanordnung besteht mehr Raum zur flexiblen Nutzung, sei es als zusätzliche Sitzplätze, Multifunktionsabteile oder für Stehplätze. Beim Zweirichtungstram entsteht durch die beidseitige Türanordnung zwangsläufig mehr Stehfläche.

3 Wirtschaftliche und betriebliche Aspekte der beiden Fahrzeugsysteme

In diesem Kapitel wird auf die zentralen wirtschaftlichen und betrieblichen Aspekte eingegangen, welche in Bezug auf die beiden Fahrzeugsysteme relevant sind.

3.1 Fahrgastkomfort und Fahrzeugkapazität

Mehrere Aspekte, in welchen sich ERF und ZRF unterscheiden, haben einen Einfluss auf den Komfort für die Fahrgäste und die Beförderungskapazitäten der Trams. Es werden nur diejenigen Aspekte der beiden Systeme betrachtet, die unterschiedlich ausfallen.

Ein grosser Anteil am Fahrkomfort ist auf einen ruhigen Fahrzeuglauf zurückzuführen. Die neu bestellten Tramlinks unterscheiden sich im Fahrzeugaufbau nur marginal und deshalb wurde auf eine Unterscheidung bezüglich der Laufruhe verzichtet. Der Fahrgastkomfort und die Fahrzeugkapazität der beiden Systeme werden aufgrund vorhandener Sitz- und Stehplätze und der freien Fläche für den Transport von Utensilien / Gegenstände mittels der folgenden Tabelle detailliert verglichen.

Fahrgastkomfort / Kapazität	Einrichtungsfahrzeuge	Zweirichtungsfahrzeuge
Hauptmerkmale / Charakteristik	ERF haben mehr Sitzplätze auf gleicher Fläche. Demgegenüber steht ein geringer Anteil Stehplätze, beziehungsweise freier Fläche. Andererseits ist der Spielraum zur Innenraumgestaltung/Möblierung höher. Die Tramlinks ERF haben 71 Sitz- und 94 Stehplätze bei 2 Personen/m^2.[5] 66 % der Sitze zeigen in Fahrtrichtung.	ZRF haben weniger Sitzplätze auf gleicher Fläche. Demgegenüber steht ein höherer Anteil Stehplätze, beziehungsweise freier Fläche. Tramlinks ZRF haben 56 Sitz- und 100 Stehplätze bei 2 Personen/m^2. Es sind je 50% der Sitze je Fahrtrichtungen vorhanden.
Fokus		
Betrieb	+ Mehr Sitzplätze und diese zeigen mehrheitlich in Fahrtrichtung.	– Weniger Sitzplätze und die Hälfte zeigt in Gegenfahrtrichtung.
	– Höheres Verhältnis Sitz-/Stehplätze kann Fahrgastwechsel verzögern (siehe 3.2.1).	+ Tieferes Verhältnis Sitz-/Stehplätze kann den Fahrgastwechsel beschleunigen (siehe 3.2.1).
	Unterschied der Transportkapazität ist für das Tramsystem signifikant; insb., wenn auf einer Linie vorwiegend/nur ZRF eingesetzt werden, sind ggf. zusätzliche Kurse notwendig, um Transportkapazität sicherzustellen (bei einer Belegung von 2 Personen/m^2 hat das ERF eine um 9 Personen bzw. 5.7% höhere Kapazität)	
Fahrgast	+ Mehr Sitzplätze und Mehrheit in Fahrtrichtung.	– Weniger Sitzplätze und die Hälfte zeigt in Gegenfahrtrichtung.
	– Kleinere nutzbare freie Fläche (39.7 m^2) für Kinderwagen, Velos.	+ Grössere nutzbare freie Fläche (42.5 m^2) für Kinderwagen, Velos.
	Beide Tramtypen haben separaten Stellraum für zwei Rollstühle. Anforderungen an das BehiG müssen zwingend erfüllt sein.	
Öffentlichkeit	Keine Relevanz.	

[5] 2 Personen/m^2 dient Bernmobil in der Planung als Dimensionierungsgrundlage. Die absolute Kapazität durch Stehplätze in Stosszeiten liegt höher.

Kostenträger	– Erhöhung der Abgeltungskosten, wenn zur Gewährleistung der Kapazität mit ZRF zusätzliche Umläufe erforderlich sind.
Fazit	ERF weisen eine höhere Gesamtkapazität auf und sind aufgrund ihrer deutlich höheren Anzahl Sitzplätze für die Fahrgäste komfortabler.

Beurteilung:

Bezüglich der Beförderungskapazität schneidet das ERF mit einem um rund 6% höheren Platzangebot (Sitz- und Stehplätze zusammen) besser ab. Die durch die beidseitigen Türen entfallenden Sitzplätze können auch bei einem stehplatzoptimierten Fahrzeug nicht vollständig durch die zusätzlichen Stehplätze im ZRF kompensiert werden (bei einem sitzplatzoptimierten Fahrzeug würde sich dieser Kapazitätsunterschied noch akzentuieren). Die neuen Tramtypen haben beide eine Länge von 42.5m; es besteht somit kein grundlegender Transportkapazitätsunterschied in Abhängigkeit zur Länge. Für die Beförderung von Gegenständen ist genügend nutzbare freie Fläche vorgesehen.

Aus Komfortsicht ist die primäre Relevanz beim Fahrgast. Dieser wünscht sich erstens einen Platz im Tram, zweitens einen Sitzplatz und drittens einen in Fahrtrichtung. Diesbezüglich ist das ERF aufgrund der höheren Sitzplatzverfügbarkeit im Vorteil. Zu beachten ist, dass auf Fahrten von weniger als 15 Minuten[6], was im städtischen Netz oft der Fall ist, Fahrgäste weniger sensitiv auf die Sitzplatzverfügbarkeit reagieren.

3.2 Effizienz im Betrieb

Zwischen Fahrzeugsystemen und Effizienz im Betrieb bestehen viele Wechselwirkungen und Abhängigkeiten. Eine abschliessende Beurteilung würde aufgrund der Komplexität den Rahmen dieser Auslegeordnung sprengen. Dennoch geben die hier betrachteten Aspekte einen Aufschluss darüber, welche Abhängigkeiten der Fahrzeugsysteme sich wie auf die Effizienz des Betriebs auswirken können.

3.2.1 Fahrgastwechsel

Ein wichtiger Faktor für die Fahrplanstabilität stellt der Fahrgastwechsel dar. An einer Haltestelle spielen sich die folgenden Prozesse ab:

Einfahrt Tram → Halt Tram → Fahrgastwechsel → Warten auf Türfreigabe bzw. Fahrtbereitschaft → Ausfahrt (sofern Gleis frei)

Die beiden betrachteten Fahrzeugsysteme unterscheiden sich nur in Bezug auf den Fahrgastwechsel (Ein- und Aussteigen der Passagiere), alle anderen Prozesse sind identisch und werden nicht weiter betrachtet.

[6] Die Fahrt von Bern, Bahnhof nach Worb, Dorf dauert mit der Linie 6 28 Minuten. Die Belegung über den ganzen Linienast wurde nicht analysiert, es ist davon auszugehen, dass diese über den Lauf der Linie abnimmt und damit die Sitzplatzverfügbarkeit zunimmt.

Fahrgastwechsel	Einrichtungsfahrzeuge	Zweirichtungsfahrzeuge
Hauptmerkmale / Charakteristik	Die neuen Tramlinks ERF haben sieben Türen auf der in Fahrtrichtung rechten Seite (fünf breite und zwei schmale). Der Fahrgastwechsel erfolgt immer auf der rechten Fahrseite.	ZRF haben eine beidseitige Türanordnung. Die neuen Tramlinks ZRF haben sechs Türen je Seite (vier breite und zwei schmale).
Fokus		
Betrieb	+ Höhere Anzahl Türen an Halteseite beschleunigen den Fahrgastwechsel.	− Tiefere Anzahl Türen verlängern den Fahrgastwechsel.
	+ Die den Türen gegenüberliegende Seite kann entweder bestuhlt oder als Multifunktionsabteile eingerichtet werden.	+ Aufgrund beidseitiger Türanordnung entsteht mehr freie Fläche für den Personenfluss im Fahrzeug.
	− Eine höhere Anzahl an Sitzplätzen verzögert den Fahrgastwechsel, da aufstehende/absitzende Passagiere beim Ein-/Aussteigen mehr Zeit benötigen.	+ Ein tieferes Verhältnis Sitz- zu Stehplätzen beschleunigt tendenziell den Fahrgastwechsel, da mehr freie Fläche zur Zirkulation zur Verfügung steht
	+ Konsequente Türöffnung in Fahrtrichtung rechts erleichtert die Orientierung und beschleunigt den Fahrgastwechsel.	− Wechselseitige Türöffnung (derzeit nicht vorgesehen) behindert den Fahrgastwechsel, wenn der Türbereich gleichzeitig als Stehbereich dient.
Fahrgast	− In einem vollbesetzten Fahrzeug ist der Fahrgastwechsel erschwert, da weniger Zirkulationsfläche verfügbar ist.	+ In einem vollbesetzten Fahrzeug wird der Fahrgastwechsel vereinfacht sein, da mehr freie Fläche zur Verfügung steht.
	Der Fahrgastwechsel muss zwingend die Anforderungen an das BehiG erfüllen.	
Öffentlichkeit	Es sind keine relevanten Unterschiede vorhanden.	
Kostenträger	Ein verzögerter Fahrgastwechsel kann im Extremfall den Fahrzeugumlauf verlängern und dazu führen, dass mehr Fahrzeuge nötig sind.	
Fazit	Aufgrund höher Anzahl Türen erfolgt der Fahrgastwechsel bei ERF schneller. ZRF kompensieren diesen Nachteil durch eine bessere Zirkulation im Fahrzeug. In der Summe bleibt aber das ERF leicht im Vorteil.	

Beurteilung:

Aktuell hat es im Berner Tramnetz nur Aussenperrons an Haltestellen, bei diesen sind die Vorteile auf der Seite von ERF. Die höhere Anzahl an Türen pro Seite bei ERF beschleunigen den Fahrgastwechsel. Demgegenüber steht der höhere Stehplatzanteil in ZRF, welcher den Fahrgastwechsel durch einen besseren Personenfluss beschleunigt. Bezüglich Zeitbedarf für den Fahrgastwechsel verbleibt jedoch ein Vorteil zugunsten von ERF mit höherer Anzahl Türen pro Seite.

Die geringere Anzahl Türen bei ZRF wird daher bei hohem Fahrgastaufkommen zu verlängerten Aufenthaltszeiten an Haltestellen und aufsummiert über die ganze Linie zu einer verspäteten Ankunft an der Endhaltestelle führen. Sofern auch ZRF über die Wendeschlaufen kehren, kann diese Verspätung durch die vorgesehene Pufferzeit kompensiert werden, die Zeitreserve zum Ausgleich weiterer Verzögerungen (z. B. Behinderungen durch MIV) wird jedoch entsprechend kleiner, worunter die Fahrplanstabilität leidet.

Abschliessend kann bei vorliegender Analysetiefe konstatiert werden, dass die Fahrgastwechselzeiten und die u.a. davon abhängende Fahrplanstabilität mit ERF besser eingehalten werden können. Dieser Nachteil für ZRF ist insbesondere bei hohem Fahrgastaufkommen während der Spitzenstunden relevant und könnte im schlechtesten Fall zu einer höheren Anzahl benötigter Fahrzeuge führen.

3.2.2 Wendezeit

Trams wenden im Normalbetrieb üblicherweise an der Endhaltestelle der Linie oder im Störungsfall vorzeitig an einer Betriebswendeschlaufe bzw. Kehranlage. ERF benötigen dafür eine Wendeschlaufe, ZRF eine Kehranlage oder eine Wendeschlaufe.

Nach dem Befahren der Wendeschlaufe und dem anschliessenden Fahrgastwechsel ist das Tram i.d.R. bereit für die Weiterfahrt in der Gegenrichtung.

Beim Wenden an einer Kehranlage fallen neben dem Fahrgastwechsel zusätzlich der Führerstandswechsel sowie das Ab- und Aufrüsten des Fahrzeuges an, wobei die letzten beiden Prozesse während des Fahrgastwechsels erfolgen können, sofern der Spurwechsel von der Haltekante aus gesehen streckenseitig angeordnet ist und bei der Ein- oder Ausfahrt befahren wird.

Erfahrungen aus Netzen mit Zweirichtungsbetrieb zeigen, dass der zeitliche Mehrbedarf beim Richtungswechsel an Kehranlagen gegenüber Wendeschlaufen 2-3 Minuten beträgt.

Die Angebotsgrundsätze von Bernmobil sehen an den Linienenden eine Wendezeit von mindestens 4 Minuten vor. Diese Zeit dient einerseits dem Fahrgastwechsel und als Kompensation für Verspätungen (Pufferzeit), andererseits auch als Zeit für die Erholung/Pause des Fahrpersonals.

Wendezeit	Wendeschlaufe	Kehranlage
Hauptmerkmale / Charakteristik	Das Wendemanöver (Fahrgastwechsel, Befahren Wendeschlaufe, Herstellung Abfahrbereitschaft) ist ca. 2-3 Min. schneller als bei Kehranlage. Weniger Prozessschritte nötig als beim ZRF.	Mehrbedarf von 2-3 Minuten für Führerstand- und Gleiswechsel. Der Fahrgastwechsel findet parallel zum Führerstandwechsel statt.
Fokus		
Betrieb	+ Höhere geplante Pufferzeit bei Standardwendezeit von 4 Min.	− 2-3 Min. weniger Pufferzeit am Linienende.
	− Wendezeit hängt stark von Ausgestaltung der Wendeschlaufe ab (z. B. grosse Wendeschlaufen um Häuserblock).	+ Wendezeit weniger abhängig von Ausgestaltung Kehranlage.
	+ Höhere Systemabhängige Fahrplanstabilität zu erwarten.	− aufgrund geringerer Pufferzeit tiefere Fahrplanstabilität zu erwarten.
	+ Bei 6'-Taktintervall können mehr als 2 Tramlinien regelmässig kehren.	− Bei Taktintervall unter 7.5' reicht die Kapazität für max. 2 Tramlinien zum Kehren.
Fahrgast	Die Betrachtungen beziehen sich auf die Wendezeit am Linienende. Es besteht keine direkte Auswirkung der Wendezeitunterschiede auf die Fahrgäste.	
Öffentlichkeit	Die Wendezeit an sich hat keinen Einfluss auf die Öffentlichkeit und die städtebauliche Integration.	
Kostenträger	+ Allenfalls geringerer Bedarf an Ersatzfahrzeugen durch höhere Pufferzeiten und stabilerem Fahrplan.	− Allenfalls höherer Bedarf an Fahrzeugen aufgrund längerer Umlaufzeiten zur Stabilisierung des Fahrplans.
Fazit	Wenn die Wendezeit pro Linienende 4 Minuten beträgt und der Zeitbedarf für den Wendeprozess an einer Kehranlage bis zu 3 Minuten beträgt, verbleibt lediglich 1 Minute als effektive Reservezeit zum Verspätungsausgleich.	

Beurteilung:

Bezogen auf die reine Wendezeit stellen Wendeschlaufen – und damit die Pflichtanlangen für ERF – die schnellere Wendemöglichkeit dar. Die Wendeschlaufen an Endhaltestellen im Berner Netz sind meist kurz und die Fahrzeit im Verhältnis zur Gesamtwendezeit entsprechend tief. Der Einfluss der Grösse von Wendeschlaufen auf die Wendezeit wird grundsätzlich als gering eingeschätzt. Gegenüber Kehranlagen ergibt sich somit bei Wendeschlaufen ein Zeitvorteil von ca. 2-3 Minuten.

Bei einer Wende- bzw. Pufferzeit von 4 Minuten bleibt nach dem Richtungswechsel an einer Kehranlage lediglich eine Pufferzeit von 1-2 Minuten. Das heisst, sobald eine Verspätung von mehr als 2 Minuten auftritt, reicht für das Wendemanöver in einer Kehranlage die Pufferzeit von 4 Minuten nicht mehr aus und die Verspätung überträgt sich auf den Gegenkurs.

Übertragen sich Verspätungen regelmässig auf den Folgekurs, müssen zur Stabilisierung des Fahrplanes generell längere Umlaufzeiten und zusätzliche Fahrzeuge eingeplant werden, was letztlich die Abgeltungskosten erhöht. Mit Kehranlagen an Stelle von Wendeschlaufen ist dieses Risiko erhöht.

3.2.3 Betriebliche Flexibilität bei Erweiterung des Tramnetzes

Eine Erweiterung des Tramnetzes kann in folgende Aspekte gegliedert werden.

- Erstellung eines Netzes von Grund auf
- Erweiterung einer einzelnen, bereits bestehenden Linie
- Erstellung einer neuen Linie, getrennt vom bestehenden Netz
- Erstellung einer neuen Linie, integriert in das bestehende Netz

Für das Tramnetz in Bern kommen nur die Eingliederung einer neuen Linie in das bestehende Netz sowie die Erweiterung einer bestehenden Linie in Frage. Folglich werden diese zwei Varianten im Detail bezüglich der Bedienbarkeit von ERF oder ZRF untersucht. Ein weiterer wichtiger Punkt, ist die Etappierbarkeit und die Eingliederung der verschiedenen Etappen in den operativen Betrieb.

Erweiterbarkeit	Einrichtungsfahrzeuge	Zweirichtungsfahrzeuge
Hauptmerkmale / Charakteristik	Für eine Erweiterung von Linien mit ERF, muss für jede Etappe eine Betriebswendeschlaufe erstellt werden. Folgt die Erweiterung der Linie ohne Etappierung, genügt theoretisch eine Wendeschlaufe an den Linienenden.	Für eine Erweiterung von Linien mit ZRF, müssen eine End- sowie für jede Etappe eine Betriebskehranlage erstellt werden. Falls eine Buslinie auf Tram umgestellt wird, sind an den Etappengrenzen auch Wendemöglichkeiten für Busse vorzusehen.
Fokus		
Betrieb	– Die benötigten Betriebswendeschlaufen zur Erweiterung in einem urbanen Gebiet bestimmen die Etappen. Gründe: Raumknappheit, geeignete Standorte nicht frei wählbar, Kosten für provisorisch genutzte Anlagen hoch.	+ Der geringere Platzbedarf von Kehranlagen erlaubt eine flexiblere Auswahl und eine kürzere Ausgestaltung der einzelnen Etappen.
	– In Gebieten mit erhöhtem Nutzungsdruck könnte die Erweiterung an der Machbarkeit der Infrastrukturen scheitern.	+ In Gebieten mit erhöhtem Nutzungsdruck kann die Erweiterung flexibler ausgestaltet werden.

		– Verläuft eine Linie nicht im Eigentrassee, entstehen grosse Konfliktpunkte mit dem MIV beim Wendemanöver, die ohne aufwendige Signalisation oder zusätzliches Sicherungspersonal nicht bewältigt werden können.
Fahrgast	– Eine längere Wartefrist, bis einzelne Etappen in Betrieb genommen werden, führt zu einer späteren Vergrösserung des Einzugsgebiets und Ausbau des Angebots.	+ Eine schnellere Einführung einzelner Etappen generiert bereits früher Zusatznutzen für die Fahrgäste.
Öffentlichkeit	– Bisherige Projekte zeigten grosse Skepsis in der Bevölkerung bezüglich der Erstellung von (Betriebs-)Wendeschlaufen. Die Machbarkeit einer Erweiterung kann aufgrund der schwierigen Etappierbarkeit beeinträchtigt werden, bzw. müssten ohne Etappierung realisiert werden.	+ Aufgrund des geringeren Platzbedarfs sind Betriebskehranlagen ohne grösseren Widerstand aus der Bevölkerung erstellbar und somit ist eine Erweiterung in Etappen einfacher auszugestalten.
	– Der Druck ist erhöht, dass Endwendeschlaufen in Räumen mit geringerem Nutzungsdruck zu liegen kommen	
Kostenträger	– Aufgrund der unflexibleren Etappierbarkeit sowie den höheren zu bewilligenden Objektkrediten (schlechtere politische Akzeptanz) könnte ein Erweiterungsprojekt verzögern beziehungsweise in der Umsetzung scheitern.	+ Die flexiblere und die feingliedrigere Etappierung von Erweiterungen erlaubt eine günstigere/schnellere Einführung der Etappen in den Betrieb und generiert somit bereits früher einen Nutzen durch die Investitionen.
Fazit	ZRF sind bezüglich der einfacheren Realisierung der Kehranlagen und Etappierung als klar besser einzustufen.	

Beurteilung:

Die Möglichkeiten von Tramnetz-Erweiterungen sind stark vom gewählten Fahrzeugsystem abhängig. Im urbanen Gebiet liegen die Vorteile klar bei den ZRF, einerseits aufgrund des geringeren Raumbedarfs der Kehranlagen und andererseits durch die bessere Etappierbarkeit und der damit verbundenen schnelleren Inbetriebnahme einzelner, kürzerer Etappen.

3.2.4 Flexibilität im Betrieb

Um bei Betriebsunterbrüchen Restbetriebe aufrechterhalten zu können, müssen die Trams möglichst nahe an der unterbrochenen Stelle gewendet werden können. Hierfür sind entsprechende Infrastrukturen wie Betriebswendeschlaufen oder Betriebskehranlagen notwendig. Je mehr solche Einrichtungen über das Netz verteilt (zumeist an strategischen Punkten) vorhanden sind, um so flexibler kann auf Unterbrüche reagiert werden.

Es wird zwischen zwei Fällen von Betriebsunterbrüchen unterschieden:

- Geplant: Baustellen, Grossanlässe, etc.
- Ungeplant: Störungen an Gleisanlagen, Fahrleitungen oder Fahrzeugen, Unfälle, Streckenblockierungen, etc.

Betriebskehranlagen lassen sich im städtischen Raum einfacher realisieren, können jedoch nur von ZRF genutzt werden. Bei geplanten Betriebsunterbrüchen hat man genügend Zeit,

um geeignete Überbrückungskonzepte auszuarbeiten und die Fahrzeuge entsprechend zu disponieren, damit ein möglichst grosser Tram-Restbetrieb aufrechterhalten werden kann. ERF und ZRF können entsprechend den vorhandenen Infrastrukturen den verbleibenden Teilstrecken zugeteilt und eingesetzt werden.

Bei ungeplanten Betriebsunterbrüchen müssen in kurzer Zeit viele komplexe Entscheidungen getroffen und deren Wechselwirkungen gegeneinander abgewogen werden. Um den Handlungsspielraum zu erhöhen, ist der Trambetreiber noch stärker als bei geplanten Unterbrüchen auf ein flexibles Betriebssystem angewiesen.

Flexibilität	Einrichtungsfahrzeuge	Zweirichtungsfahrzeuge
Hauptmerkmale / Charakteristik	ERF haben einen Führerstand und können nur in eine Richtung fahren. Ein Hilfsführerstand am anderen Fahrzeugende erlaubt kürzere Rückwärtsfahrten (Manöver in Depots o.ä.).	ZRF haben einen Führerstand an jedem Fahrzeugende und können in beide Richtungen fahren.
Fokus		
Betrieb	– Möglichkeit zum Richtungswechsel im Linienbetrieb besteht nur bei Wendeschlaufen.	+ Möglichkeit zum Richtungswechsel besteht dort, wo Spurwechsel / Kehranlagen vorhanden sind.
		+ Spurwechsel kann in Kehranlage, Gleisdreieck oder Wendeschlaufe erfolgen
	– Vorzeitiges Wenden nur an allen Haltestellen mit Wendeschlaufen möglich.	+ Vorzeitiges Wenden an Haltestellen möglich, sofern in unmittelbarer Nähe eine Gleisverbindung beziehungsweise Kehranlage besteht.
	+ Betrieb bis zur nächsten Wendeschlaufe im Bereich des ungeplanten Betriebsunterbruchs möglich	+ Betrieb von beiden Seiten bis zum unterbrochenen Teil des Netzes möglich, sofern eine Gleisverbindung beziehungsweise Kehranlage besteht.
	– Bei ungeplanten Betriebsunterbrüchen besteht die Gefahr, grosse Teile oder die ganze Linie nicht bedienen zu können.	+ Bei ungeplanten Betriebsunterbrüchen besteht die Chance, nur die gestörten Abschnitte einer Linie nicht bedienen zu können, jedoch nur auf Linien mit artreinem Betrieb mit ZRF.
	+ Tramwendeschlaufen können i.d.R. auch von Busersatz zum Wenden genutzt werden.	– Bei Kehranlagen in schmalem Strassenkorridor können Busse nicht wenden. Wo nicht über das umliegende Strassennetz Kehrfahrten möglich sind, kann kein Busersatzbetrieb zur Überbrückung der blockierten Strecke eingerichtet werden.
		+ ZRF können als betriebliche Reserve herangezogen werden, sofern deren Bestand genügend gross ist. Sie sind auf dem ganzen Netz einsetzbar.
Fahrgast	– Tendenziell grösserer unbedienter Teil des Netzes bei Unterbrüchen → reduziertes Angebot bzw. mehr Fahrgäste betroffen von Tramersatzbetrieb im Rahmen der Störungsüberbrückung.	+ Tendenziell kleinerer unbedienter Teil des Netzes bei Unterbrüchen und umfangreicherer Restbetrieb bzw. weniger Fahrgäste betroffen von Tramersatzbetrieb im Rahmen der Störungsüberbrückung.
Öffentlichkeit	Es sind keine relevanten Unterschiede vorhanden	

Kostenträger	–	Mehr Busse benötigt, um tendenziell längeren gestörten Teil zu überbrücken.	+	Weniger Busse benötigt, um tendenziell kürzeren gestörten Teil zu überbrücken.
	+	Kein zusätzliches Personal für Wendemanöver notwendig.	–	Befindet sich die zur Überbrückung notwendigen Kehranlage im Mischverkehr mit dem MIV, ist zusätzliches Personal zur Sicherung notwendig, sofern keine Lichtsignalanlage die Sicherheit gewährleistet.
Fazit	Bei geplanten Betriebsunterbrüchen haben die ZRF aufgrund höherer Flexibilität klare Vorteile.			

Beurteilung:

Die Vorteile liegen eindeutig auf der Seite der ZRF. Sie erlauben das einfachere frühzeitige Wenden an Haltestellen mit Gleiswechsel oder Kehranlagen möglichst nahe am unterbrochenen Streckenabschnitt, sofern in engen Abständen Kehranlagen vorhanden sind. Dieser Vorteil ergibt sich allerdings nicht aus den ZRF selbst, sondern deren Möglichkeit, an den einfacher zu realisieren Kehranlagen wenden zu können. ERF benötigen dagegen immer eine Wendeschlaufe, deren Bau im innerstädtischen Raum anspruchsvoll ist und Konfliktpotenzial hat.

Optimal gelegene Kehranlagen ermöglichen es sowohl bei geplanten als auch bei ungeplanten Betriebsunterbrüchen mit ZRF auf längeren Abschnitten den Trambetrieb aufrechtzuerhalten. Bei einem Mischbetrieb von ERF und ZRF auf derselben Linie entfällt jedoch diese Flexibilität bei ungeplanten Betriebsunterbrüchen, weil davon auszugehen ist, dass in der betrieblichen Praxis die ZRF durch die weniger flexiblen ERF blockiert werden.

Für die Entpannung (Abschleppen eines stehengebliebenen Trams) kann es von Vorteil sein, ein defektes Tram, je nach Lage des Depots, nicht bis zur nächsten Wendeschlaufe schleppen zu müssen, sondern es an der nächstgelegenen Kehranlage zu wenden.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass im Falle von Betriebsunterbrüchen ZRF eine deutlich höhere Flexibilität bieten. Um die Vorteile voll ausspielen zu können, sind optimal gelegene und in regelmässigen Abständen angeordnete Kehrmöglichkeiten im Netz vorzusehen (inkl. entsprechende Anpassungen in der Stromversorgung). Liegen diese im Mischbetrieb mit dem MIV, so können diese nur bei Vorhandensein umfangreicher Sicherungsanlagen oder Verkehrsregelung[7] benützt werden. Werden auf einer Tramlinie ERF und ZRF gemischt eingesetzt, können die ZRF im Störungsfall nicht mehr beliebig an Kehranlagen wenden, da sie unter Umständen von davor- oder dahinterliegenden ERF blockiert werden.

Neben Betriebsstörungen kann die erhöhte Flexibilität von ZRF genutzt werden, um die Fahrzeuge freizügig im ganzen Netz einzusetzen, was die Fahrzeugdisposition vereinfacht, wenn ERF aufgrund von Revisionen etc. nicht dem Betrieb zur Verfügung stehen. Umgekehrt besteht jedoch das Risiko, dass bei knappem Bestand einsetzbarer ZRF auf Linien, welche nur noch Kehranalagen aufweisen, Kursausfälle hinzunehmen sind.

[7] Im ungeplanten Störungsfall genug geeignetes Personal zur Lenkung und Sicherung des Verkehrsflusses innert kürzester Zeit zur Verfügung zu stellen, stellt eine grosse Herausforderung dar.

3.3 Wirtschaftliche Aspekte (Investition, Betrieb und Unterhalt)

Bei den wirtschaftlichen Aspekten liegt der Fokus auf den Fahrzeugen und deren Unterschiede. Dabei werden nicht die Kosten über die gesamte Lebensdauer (Lifecycle Costs) betrachtet, sondern einzelne Aspekte verglichen, die in die Lebenszykluskosten einfliessen. Sofern möglich wird gleichwohl eine Aussage über die gesamte Lebensdauer der Fahrzeuge gemacht.

Infrastrukturelemente, welche sich zwischen ERF und ZRF unterscheiden, haben selbstredend einen starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Diese werden in Kap. 4 abgehandelt.

3.3.1 Beschaffungskosten

Trams werden für eine Lebensdauer von 30 bis 40 Jahren beschafft. Dabei läuft einer Beschaffung eine Ausschreibung voraus, in der von verschiedenen Herstellern Offerten eingeholt werden. Die Ausschreibung bestimmt die Rahmenbedingungen und gibt vor, wie viele Einheiten in der Grundmenge und wie viele als Optionsmenge benötigt werden. Grundsätzlich reduziert sich der Beschaffungspreis pro Einheit, je höher die Anzahl bestellter Einheiten ist.

Eine Angabe zum genauen Stückpreis ist schwierig zu erhalten, da oftmals die Hersteller diese sensiblen Angaben als geheim klassifizieren und die Preise zudem taktisch festgesetzt werden. Diesbezüglich wird im Rahmen dieses Projekts auf die prozentualen Unterschiede zwischen den Beschaffungskosten der betrachteten Tramsysteme eingegangen. Unsere Recherche stützt sich auf verschiedene Beschaffungsprojekte innerhalb Europas und Angaben aus Berichten, die zur Entscheidungsfindung bei Beschaffungsprojekten entstanden sind.

- Für die aktuelle Beschaffung der neuen Tramlinks für das Berner Tramnetz sind 27 Fahrzeuge bestellt, wovon 20 ZRF und 7 ERF. Bernmobil gibt an, dass es keinen Stückpreisunterschied zwischen den beiden Tramtypen gibt. Dies ist auf den Skaleneffekt oder die Preisstrategie des Herstellers zurückzuführen.
- Bei der letzten Beschaffung für neue ERF und ZRF gibt der Trambetreiber der Stadt Bratislava an, dass ERF 7% günstiger sind als ZRF. Wobei die Trams ebenfalls vom gleichen Hersteller produziert wurden (Michlík, 2020).
- Im Zuge des Systementscheids für die Limmattalbahn informierte der Regierungsrat des Kantons Zürich, dass der Fahrzeugpreis bei der Zweirichtungsvariante durch den zusätzlichen Führerstand und Türen etwa 10 % höher ist (Regierungsrat des Kantons Zürich, 2009).

Beurteilung:

Einrichtungstrams sind in Bezug auf die Beschaffungskosten pro Fahrzeug günstiger. Zweirichtungstrams sind aufgrund der zusätzlichen Komponenten (Zwei Führerkabinen, zusätzliche Türen) rund 5-10 % teurer als Einrichtungstrams. Der Skaleneffekt bei einer Bestellung von mehreren Fahrzeugen kann bei beiden Tramtypen als gleichwertig betrachtet werden.

3.3.2 Energie- und Instandhaltungskosten

Die Energie- und Instandhaltungskosten sind von mehreren Faktoren abhängig. Im Rahmen dieses Systemvergleichs werden nur die Punkte miteinander verglichen, bei denen Unterschiede zwischen den Typen identifiziert wurden. Über die gesamte Lebensdauer von 30 Jahren gibt Bernmobil an, dass die Instandhaltungskosten für ein ERF im Durchschnitt 0.1

CHF/km günstiger sind (bei einer Laufleistung von 70'000 km/Jahr). Für die 20 ZRF mit derselben jährlichen Laufleistung von 70'000 km betragen die Mehrkosten pro Jahr total 140'000 CHF. Die Lebenszykluskosten pro ZRF liegen somit 210'000 CHF über jenen von ERF. Dieser Betrag berücksichtigt ebenfalls die präventive und korrektive technische Instandhaltung und entspricht dem Einsparpotential bei einer reinen ERF-Bestellung.

Für Angaben bezüglich der Kosten für die Infrastruktur wird auf Kap. 4.1 verwiesen.

Energieverbrauch:

Der Energieverbrauch der beiden Trams hängt unter anderem vom Gewicht, der Antriebsleistung sowie der nötigen Energie für den Betrieb der HLK-Anlage[8] ab. Die für Bern bestellten Tramlinks unterscheiden sich lediglich beim Gewicht. Die spezifischen Eigenschaften der beiden Tramtypen werden anhand der folgenden Tabelle miteinander verglichen.

Energieverbrauch	**Einrichtungsfahrzeug**	**Zweirichtungsfahrzeug**
Leergewicht	51.3 Tonnen	53.7 Tonnen
Gesamtgewicht bei max. Besetzung	69.7 Tonnen	72 Tonnen
Antriebsleistung	630 kW	630 kW
Energieverbrauch pro Tram und km	3.6[9] kWh/km bei 70'000 km/Jahr	3.7 kWh/km bei 70'000 km/Jahr
Energieverbrauch pro Jahr pro Tram	251 MWh/Jahr	259 MWh/Jahr

Tabelle 2: Technische Daten der neuen Tramlinks von Stadler (Quelle: Bernmobil)

Das ZRF ist durch den zweiten Führerstand und die zusätzlichen Türen etwas schwerer als das ERF, was zu einem leicht höheren Energieverbrauch von 0.1 kWh/km führt. Hochgerechnet auf den jährlichen Verbrauch ergibt dies einen Mehrverbrauch von 140 MWh/Jahr beim Betrieb von 20 ZRF. Dies entspricht ungefähr 1 % des Energieverbrauchs der Tramflotte von Bernmobil im Jahr 2019 (13.19 GWh) und befindet sich innerhalb der Bandbreite der jährlichen Schwankungen des Energieverbrauchs der letzten Jahre.

Instandhaltung:

Die Instandhaltungskosten für ein ZRF sind gemäss Bernmobil über die gesamte Nutzungsdauer schätzungsweise etwa 0.1 Fr./km höher als für ein ERF. Diese Differenz ergibt sich im Wesentlichen aus der höheren Anzahl Türen, dem zweiten Führerstand und den zusätzlichen Installationen der Zugsicherung. Beim Unterhalt der übrigen Systeme ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede.

Beurteilung:

Die ZRF weisen durch das Mehrgewicht einen leicht höheren Energieverbrauch auf und sind in der Instandhaltung aufgrund der zusätzlichen Systeme für den Zweirichtungsbetrieb etwas teurer. Insgesamt ergeben sich daher leichte Vorteile für das ERF bei den Energie- und Instandhaltungskosten.

[8] Heizung, Lüftung, Klimaanlage
[9] Es handelt sich um einen Schätzwert, welcher aus dem Wert des ZRF errechnet wurde: $3.7 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} * \frac{72\ t}{69.7\ t} = 3.6 \frac{\text{kWh}}{\text{km}}$

3.4 Zwischenfazit

In der folgenden Übersicht werden nochmals die einzelnen Kriterien zum Thema betriebliche Effizienz aufgelistet und dargestellt, wo die Vorteile der beiden Fahrzeugtypen liegen.

Übersicht

Fahrgastkomfort und Kapazität	Vorteile bei ERF
Fahrgastwechsel	Vorteile bei ERF
Wendezeit	Klare Vorteile bei ERF
Erweiterbarkeit	Klare Vorteile bei ZRF
Flexibilität	Klare Vorteile bei ZRF
Beschaffungskosten	Vorteile bei ERF
Energieverbrauch	Leichte Vorteile bei ERF
Instandhaltungskosten	Leichte Vorteile bei ERF

Die Vorteile für die ZRF liegen hauptsächlich in der Betriebsflexibilität und der Etappierbarkeit bei Erweiterungen des Netzes. Der Vorteil der höheren Betriebsflexibilität von ZRF kommt insbesondere bei artreinem Betrieb dieses Systems auf einer ganzen Linie und Eigentrassierung voll zum Tragen. Werden die Systeme im Mischbetrieb eingesetzt, relativieren sich die Vorteile in Bezug auf die Wendemöglichkeiten von ZRF, da sie bei ungeplanten Unterbrüchen unter Umständen von dahinter- oder davorliegenden ERF blockiert werden. Die Vorteile der ZRF sind daher eher hypothetisch, da im Berner Tramnetz die Bedingungen zu deren Nutzung oft nicht erfüllt sind (wenig Eigentrassee, Mischbetrieb ZRF/ERF). Bei den übrigen Kriterien ist das ERF im Vorteil.

4 Infrastrukturelle Abhängigkeiten und deren Auswirkungen auf den Betrieb

Die zwei zu untersuchenden Systeme haben zwingende infrastrukturelle Abhängigkeiten. Für einen effizienten Betrieb bestehen zudem infrastrukturelle Anforderungen, wie die Möglichkeit im Streckenverlauf zu wenden oder das Gleis zu wechseln. Unabhängig vom betriebenen System sind folgende Infrastrukturelemente zwingend erforderlich:

- Je ein Gleis pro Fahrtrichtung
- Fahrleitungen
- Signalanlagen

Um einen flexiblen Betrieb zu gewährleisten, sind an den Linienenden die Anlagen so auszugestalten, dass sich dort bis zu drei Trams gleichzeitig aufhalten können und eine gleichzeitige Ein- und Ausfahrt möglich ist.

Für einen Betrieb mit ERF sind Wendeschlaufen an den Linienenden sowie ein Aussenperron pro Fahrtrichtung und Haltestelle zwingend notwendig. Um den Betrieb bei Störungen auf dem Netz weiterhin in reduziertem Mass zu gewährleisten oder bei Verspätungen vorzeitig wenden zu können, sind abschnittsweise zusätzliche Betriebswendeschlaufen vorzusehen.

Demgegenüber können Haltestellen für ZRF im Gegensatz zu ERF auch mit Mittelperrons ausgeführt sein. Zur Sicherstellung des Betriebs in Störungsfällen sind abschnittsweise Kehranlagen einzubauen.

Einzelne Komponenten der Infrastruktur unterscheiden sich teilweise stark in Bezug auf Erstellungskosten, Unterhalt und Lebensdauer. Vorerst werden die für einen Trambetrieb erforderten Elemente wie Gleise und Weichen erläutert und die Ausführungsmöglichkeiten von Haltestellen beschrieben. Anschliessend wird in das Thema der Endhaltestellen, die entweder als Wendeschlaufe oder Kehranlage erstellt werden, eingeführt und anhand von einem detaillierten Beispiel die Unterschiede in Bezug auf Erstellungs- und Unterhaltskosten aufgezeigt.

Die Berner Trambetriebe unterliegen vielen betrieblichen und gesetzlichen Grundsätzen. Bezüglich dem Systementscheid werden zwei, welche eine direkte infrastrukturelle Wirkung hervorrufen, genauer betrachtet.

- BehiG: Die Anforderungen an einen barrierefreien Zugang zu Strassenbahnen erfordern, dass die Haltekante keine kleineren Radien als 150 Meter aufweisen darf und die Niveauunterschiede zwischen Haltekante und Einstiegsplattform einen gewissen Grenzwert nicht überschreitet.
- Taktdichte: Das heutige Angebot von Strassenbahnen erfolgt, vor allem während den Hauptverkehrszeiten, in einem dichten Takt von bis zu 6 Minuten. Daher muss an Endhaltestellen mindestens der Platzbedarf für drei Fahrzeuge vorhanden sein.

4.1 Infrastrukturelemente und deren Kosten

4.1.1 Unterhaltskosten und Lebensdauer von Infrastrukturelementen

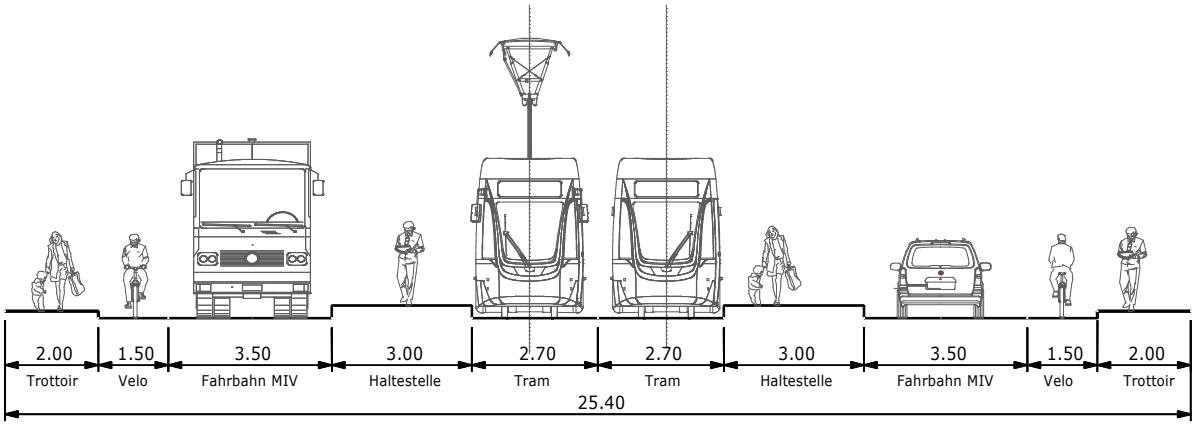
Die Lebensdauer von einem geraden Gleis, welches nur von einer Linie befahren wird, liegt zwischen 30 und 50 Jahren. Bernmobil rechnet mit jährlichen Unterhaltskosten von ca. 45’000 CHF pro Kilometer Gleislänge. Dies berücksichtigt unter anderem den Unterhalt aller Weichen, Kreuzungen und Schmierapparaten. Für die Fahrleitungen wird ein zusätzlicher Aufwand von 5’000 CHF pro km und Jahr fällig. Für enge Kurven liegt die Lebensdauer bei ca. 20 Jahren, ist jedoch stark von der Geometrie abhängig. Die Lebensdauer von gebogenen Gleisen ist somit direkt abhängig von dem Kurvenradius und der befahrenen Bogenlänge.

Weichen weisen eine Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren auf. Dabei liegt der jährliche Unterhaltsaufwand für eine elektrische Weiche bei 7’500 CHF und derjenige einer mechanischen Weiche bei 2’000 CHF. Der Unterhaltsaufwand und die Lebensdauer sind direkt abhängig von der Häufigkeit der Befahrung.

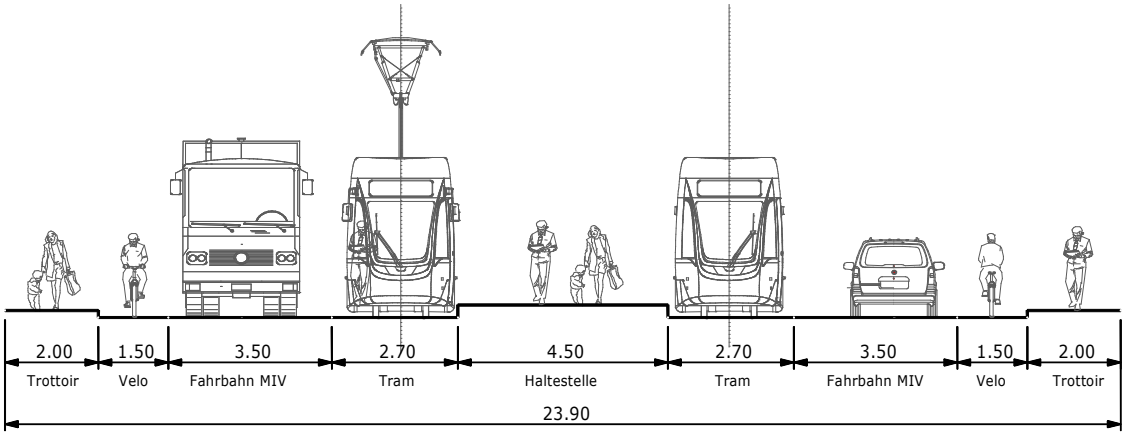
4.1.2 Ausführungsmöglichkeiten Haltestellen

Für ERF auf dem Berner Stadtnetz kommen nur Aussenperrons auf der in Fahrtrichtung rechten Seite in Frage. Für ZRF spielt die Seite keine Rolle. Sie können Mittel- sowie Aussenperrons in beide Fahrtrichtungen bedienen. Eine Visualisierung der verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten findet sich in Abbildung 2. Die angegebenen Breiten sind als Minimalabmessungen zu verstehen (keine Mitbenützung durch Bus möglich).

Aussenperron:



Mittelperron:



Kap-Haltestelle:

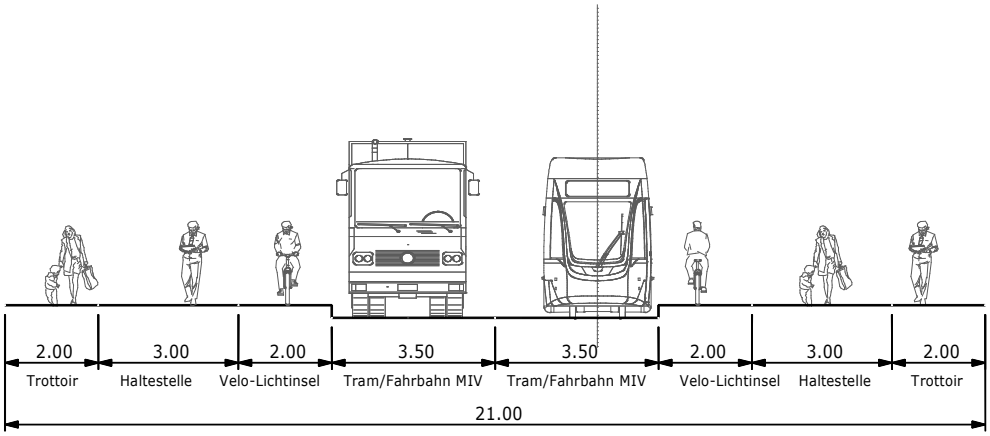


Abbildung 2: Darstellung der verschiedenen Ausgestaltungen von Haltestellen, Quelle: eigene Darstellung

Aussenperrons benötigen Bauten an beiden Seiten, um einen barrierefreien Zugang zu den Strassenbahnen zu ermöglichen. Die Gesamtfläche der Perrons bei diesen Haltestellen fallen in der Summe höher aus, können jedoch noch anderweitig genutzt werden, z. B. als Fussweg. Mittelperrons benötigen in der Summe eine etwas geringere Fläche, der zusätzliche Nutzen z. B. als Fussweg entfällt jedoch und es müssen zudem sichere Übergänge über die Tramschienen und Fahrbahnen für MIV bereitgestellt werden. Wie Abbildung 2 illustriert, weisen die verschiedenen Haltestellentypen unterschiedliche Gesamtbreiten auf. Neben der unterschiedlichen Perronanordnung weisen die Haltestellentypen auch diverse weitere Differenzen auf, wie Beeinträchtigung des Individualverkehrs, Führungsmöglichkeiten und Gefährdung des Veloverkehrs, etc. Auf diese Unterschiede wird an dieser Stelle aber nicht eingegangen, da sie zum einen nicht mit den Fahrzeugtypen zusammenhängen und zum andern stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängen.

Würden bei einer Netzerweiterung Mittelperrons gebaut, ist ein Einsatz von ZRF auf den betreffenden Strecken zwingend. Für die Erstellung von Mittelperrons kann man von bis zu 35 % reduzierten Kosten ausgehen (SMA und Partner AG, 2009). Eine Abwechslung der Halteseite im normalen Betrieb ist aufgrund der Verzögerung des Fahrgastwechsels nicht zu empfehlen (siehe Kap. 3.2.1).

4.1.3 Wendeanlagen

In Abbildung 3 sind eine Wendeschlaufe oben und unten eine Kehranlage schematisch dargestellt. Es ist auf einen Blick ersichtlich, dass für diese einfache Kehranlage ein Gleiswechsel mit zwei Weichen ausreicht, um mit einem ZRF zu wenden.

Um mit dem ERF zu wenden, sind zwei Weichen sowie eine Gleisdurchschneidung durch das weiterführende Gleis notwendig. Zudem ist für die Wendeschlaufe ein Wendekreis nötig und der Platzbedarf im Allgemeinen grösser. Diese zusätzlichen Komponenten wirken sich direkt auf höhere Erstellungs- und Unterhaltskosten aus.

Aus betrieblicher Sicht bietet die Kehranlage eine höhere Flexibilität, da sie in beide Fahrtrichtungen gleichermassen befahren werden kann, in der Abbildung schematisch in blau gekennzeichnet. Eine Wendeschlaufe ermöglicht das Kehren dagegen nur in/aus einer Richtung.

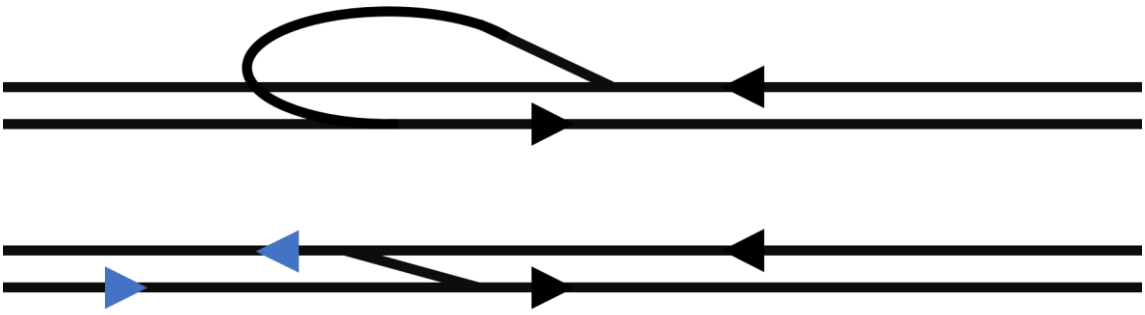


Abbildung 3 Schematische Darstellung einer Betriebswendeschlaufe und einer Betriebskehranlage.

Bei den Wendeschlaufen bzw. Kehranlagen sind im Netz zwei Typen zu unterscheiden:

- Wendeschlaufen/Kehranlagen an den Linienenden dienen im regulären Betrieb zum Wenden am Ende einer Tramstrecke. Hier wird auch die Pufferzeit abgewartet, weshalb Platz für den gleichzeitigen Aufenthalt mehrerer Tramzüge vorhanden ist. Daher ist bei beiden

Systemen ein weiteres Gleis nötig, um wartende oder defekte Fahrzeuge zwischenzeitlich abzustellen. In der Regel ist in solchen Anlagen auch die Haltestelle zum Fahrgastwechsel integriert (in Kap. 4.2 wird auf diese Anlagen vertieft eingegangen). Die Haltekante darf keine Radien kleiner als 150 Meter aufweisen, um BehiG-konform zu sein (was bei älteren Wendeschlaufen aber oft nicht erfüllt ist). Für ZRF wäre ein Mittelperron bei Endhaltestellen durchaus denkbar.

- Betriebswendeschlaufen/Betriebskehranlagen befinden sich an strategisch wichtigen Punkten im Netz bzw. innerhalb eines Linienverlaufs und dienen dem vorzeitigen Wenden bei Störfällen oder grossen Verspätungen. Im fahrplanmässigen Normalbetrieb werden diese Anlagen nicht genutzt bzw. nur für Dienst- oder Depotfahrten. Entsprechend ihrem Zweck sind diese Anlagen nicht als Haltestellen ausgelegt. Wendeschlaufen können daher unter Einhaltung der Mindestradien kompakter dimensioniert werden als Endwendeschlaufen mit integrierter Haltestelle.

Endhaltestellen	Einrichtungsfahrzeuge	Zweirichtungsfahrzeuge
Beschreibung	ERF können nur über eine Wendeschlaufe in geänderter Richtung zurück aufs Streckengleis gelangen.	ZRF können auf einer Wendeschlaufe ohne Führerstandwechsel oder mit mittels einer Kehranlage mit Führerstandwechsel in geänderter Richtung zurück aufs Streckengleis gelangen
Fokus		
Betrieb	Auf die betrieblichen Unterschiede wird in Bezug auf die Wendezeit in 3.2.2 und auf die Flexibilität in 3.2.4 eingegangen.	
Fahrgast	– Die Wendeschlaufe ist so zu gestalten, dass die für den Fahrgastwechsel vorgesehenen Gleisteile mind. 150 Meter Radius aufweisen, was eine entsprechende Ausdehnung der Anlage zur Folge hat.	+ Ausser für die Einfahrt in den Haltestellen/Wendebereich sind bei einer Kehranlage keine gebogenen Gleisstücke erforderlich, eine gerade Haltekante für den Fahrgastwechsel ist Standard.
Öffentlichkeit	+ Wendeschlaufen generieren freien Raum im Innern der Schlaufe. Dieser kann in Abhängigkeit der Grösse einer städtebaulichen Nutzung zugeführt werden.	+ Eine Kehranlage kann kompakt ausgestaltet werden, der dafür nötige Platz kann nicht anderweitig genutzt werden, da keine freien Flächen wie bei einer Wendeschlaufe entstehen.
	– Aufgrund der isolierten Insellage sind die Nutzungsmöglichkeiten sowie die Attraktivität des Raumes innerhalb einer Wendeschlaufe beschränkt.	– Bei Kehranlagen besteht kein Anlass, einen städtebaulichen Akzent, wie z.B. eine Platzsituation, zu setzen.
	– Erfahrungsgemäss muss bei der Planung von Wendeschlaufen im städtischen Kontext mit erheblicher Opposition gerechnet werden.	+ Aufgrund des geringeren Flächenbedarfs und einer einfacheren städtebaulichen Integration ist mit weniger Opposition bei der Realisierung zu rechnen.
	– Höhere Lärmemissionen aufgrund grösserer Bogenlänge zu erwarten	+ Tiefere Lärmemissionen aufgrund kürzerer Bogenlängen zu erwarten
Kostenträger	Auf die Unterschiede bezüglich der Kosten wird detailliert in Kap. 4.2.2 eingegangen.	
Fazit	Aufgrund des geringeren Platzbedarfs und der Skepsis der Bevölkerung gegenüber Wendeschlaufen im urbanen Raum sind Endhaltestellen als Kehranlagen bei Neubauten einfacher zu realisieren.	

Beurteilung:

Die Haltekante für ERF kann aufgrund des BehiG bei Haltestellen nicht in der gekrümmten Wendeschlaufe ausgeführt werden, ein gerader Gleisteil über die gesamte Haltekante ist zwingend. Diese Bedingung ist von zentraler Bedeutung und beeinflusst die Geometrie und den Platzbedarf massgeblich. Endhaltestellen befinden sich oft am Stadtrand, wo der Nutzungsdruck im Vergleich zur Innenstadt etwas geringer ist.

Die Raumansprüche sind für Wendeschlaufen höher als für Kehranlagen. Zudem ist beim Neubau von Wendeschlaufen (in der Innenstadt meist nur Betriebswendeschlaufen) im bebauten Gebiet zunehmend mit Wiederständen zu rechnen (Siloah, Helvetiaplatz, Lancy Genf). Betriebskehranlagen können dagegen innerhalb des bestehenden Eigentrasses untergebracht werden und erfordern in diesem Fall keinen zusätzlichen Raum. Ohne Eigentrassierung, d.h. im Mischverkehr mit dem MIV (in Bern der Normalfall) sind jedoch aufwändige Sicherungsanlangen zur Verkehrsregelung notwendig und es entstehen Behinderungen des Individualverkehrs, die ebenfalls zu Widerstand gegen solche Anlagen führen können.

Werden grosszügige Wendeschlaufen gut in das Stadtbild integriert, entstehen andererseits attraktive Begegnungsräume, die unterschiedlich genutzt werden können (z. B. Bern Brünnen, Zürich Vulkanplatz, Stadelhofen).

Eine generelle Beurteilung der beiden Anlagetypen ohne Betrachtung der spezifischen Situation ist kaum möglich. Tendenziell sprechen die erhöhte Betriebsflexibilität, der geringere Raumbedarf und die damit einhergehende grössere Akzeptanz bei neuen Anlagen für Kehranlagen. Bei konkreten Projekten sind aber immer auch die örtlichen Verhältnisse zu berücksichtigen. Die grosse Längenausdehnung von Kehranlagen am Linienende kann ebenso problematisch sein wie der Flächenbedarf einer Wendeschlaufe.

4.2 Endhaltestellen

An der Endhaltestelle laufen eine Vielzahl von Prozessen ab, welche bereits an unterschiedlicher Stelle im Bericht behandelt werden:

- Fahrgastwechsel (siehe 3.2.1)
- Pufferzeiten und Fahrpersonalpause (siehe 3.2.2)
- Richtungswechsel (siehe 3.2.4)

Des Weiteren ist es zur Aufrechterhaltung der Betriebsstabilität notwendig, dass

- sich bis zu drei Tramzüge gleichzeitig in an der Endhaltestelle aufhalten können und
- davon ein Tramzug ausgestellt werden kann und
- gleichzeitige je ein Tram ein- und ausfahren kann, sowie
- Wendemöglichkeiten für Busse (Ersatzbetrieb) bestehen

Alle diese Anforderungen können i.d.R. mit den heutigen Wendeschlaufen im Netz von Bernmobil gewährleistet werden und müssen daher auch mit einer Kehranlage erfüllt werden, ohne dass Abstriche bei der Betriebsqualität hingenommen werden.

4.2.1 Vergleich der Ausführungsmöglichkeiten einer Kehranlage anhand eines konkreten Beispiels

Anhand der Endhaltestelle der Linie 7 Bern Bümpliz wird ein detaillierter Vergleich ausgearbeitet. Die Endhaltestelle ist als Wendeschlaufe ausgebildet und wird im Detail mit einer hypothetischen Ausführung als Kehranlage verglichen. Die Erstellungskosten dieser Wendeschlaufe wurden dabei auf der heutigen Preisbasis neu berechnet.

In einem ersten Schritt werden vier verschiedene Varianten zur Ausgestaltung einer Kehranlage an diesem Standort ausgearbeitet und einander gegenübergestellt. Anschliessend wird die beste der drei Ausführungen bezüglich der geschätzten Erstellungs- und Unterhaltskosten mit der jetzig bestehenden Wendeschlaufe verglichen.

Da ein zweigleisiger Trambetrieb in der Schweiz mit Ausnahme von Überlandtrams Standard ist, wird auf alternative Ausgestaltungsmöglichkeiten mit nur einem Streckengleis nicht eingegangen.

Ausgangslage:

Die für die Tramlinie Linie 7 erstellte Wendeschlaufe liegt am Stadtrand und grenzt nördlich an die Bottigenstrasse, von der das Tram im Mischverkehr mit dem MIV linksabbiegend die Wendeschlaufe befährt. Während sie südlich und westlich an einen kleinen Wald grenzt, ist sie östlich durch Gebäude begrenzt (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Orthofoto der bestehenden Endhaltestelle ausgeführt mit einer Wendeschlaufe in Bern Bümpliz, (Quelle: (Kanton Bern, Amt für Geoinformation, 2019))

Kehranlage A:

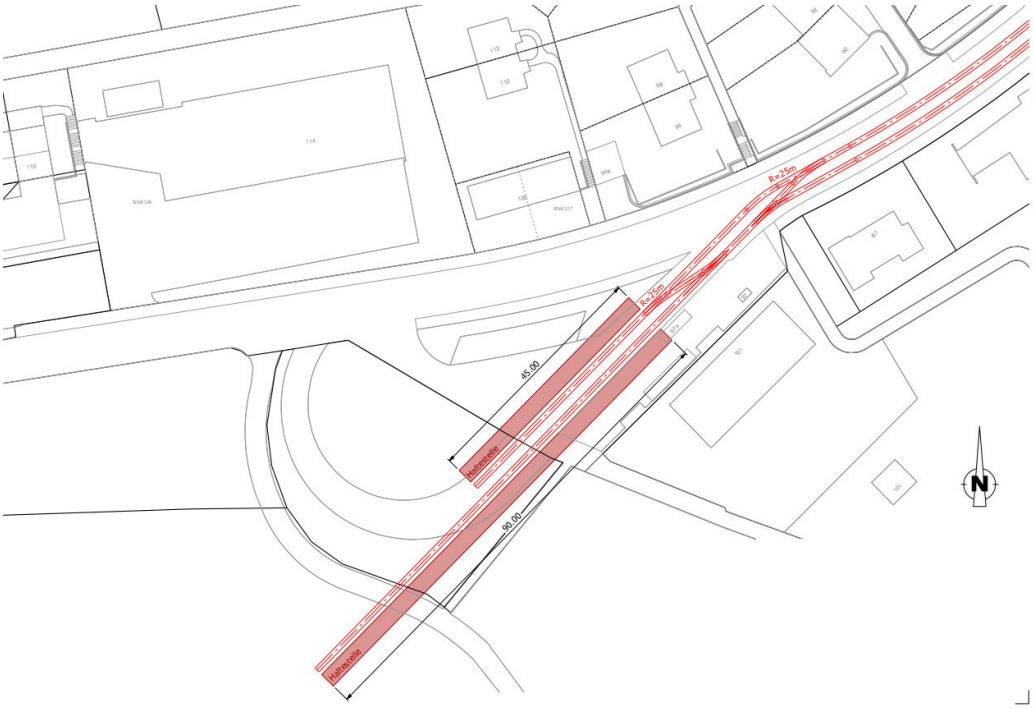


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung einer 2-gleisigen Kehranlage

- Kurvenradien: Die Radien der Kurven betragen minimal 25 m.
- Halteperrons: zwei Seitenperrons, eines von 45 m und eines von 90 m Länge.
- Gleiswechsel: Der Gleiswechsel findet vor der Einfahrt mittels zwei doppelten Weichen statt.
- Betrieb: Das längere Perron erlaubt zwar das Abstellen von zwei Trams à 42.5 m, dabei wird jedoch das Hintere blockiert. Dies hat einen grossen Einfluss auf die Flexibilität. Zusätzlich können bei dieser Ausgestaltung nur in einem von zwei Fällen die Trams gleichzeitig Ein- und Ausfahren, nämlich wenn das Ausfahrende Tram von der südlichen Haltekante losfährt und das Einfahrende die nördliche bedient. Im umgekehrten Fall werden die Fahrstrassen gekreuzt.
- Flächennutzung: Die Endhaltestelle ist von der Strasse abgewendet. Dies bewirkt freiwerdenden Raum zwischen der Haltestelle und der Strasse, der nur bedingt anderweitig genutzt werden kann, insb. weil die Wendemöglichkeit für Busse erhalten bleiben muss. Die Qualität des Raumes zwischen Haltestellte und Strasse ist als mässig einzustufen. Zusätzlich muss für die Erstellung die angrenzende Nebenstrasse umgeleitet und Wald gerodet werden. Aufgrund der grossen Längenausdehnung und der Ausbildung von der Strasse abgewandt ist eine gute Integration in das Stadtbild nicht gegeben.

Kehranlage B:

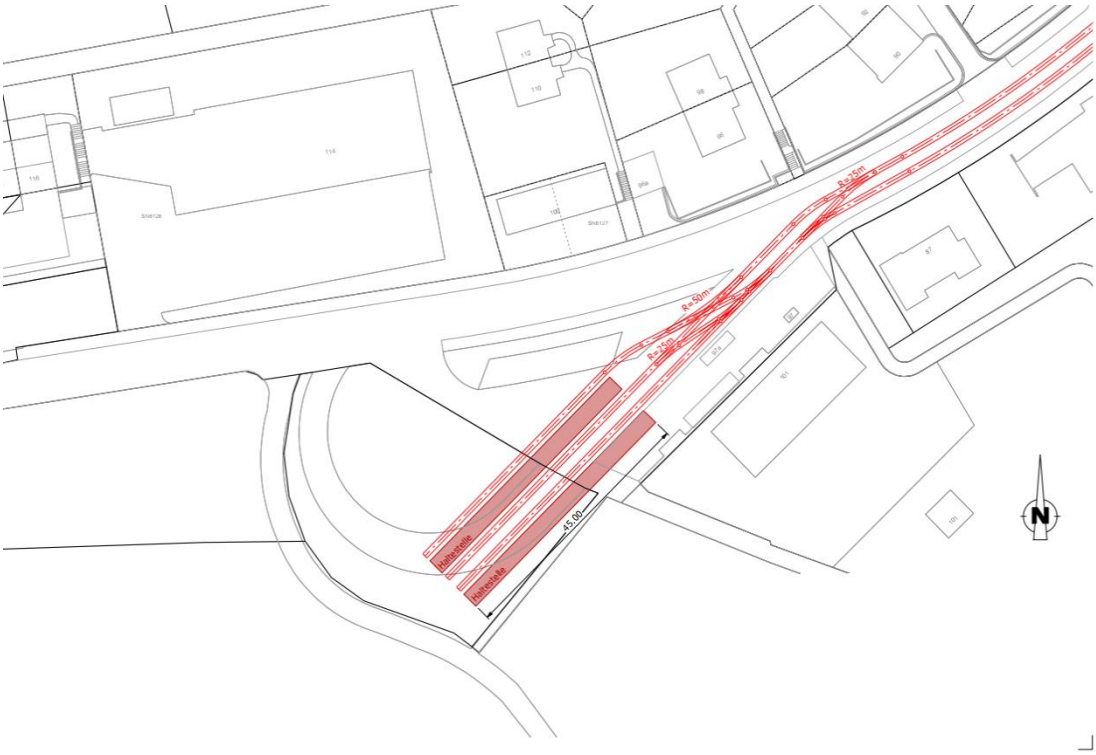


Abbildung 6: vereinfachte Darstellung einer 3-gleisigen Kehranlage

- Kurvenradien: Die Radien der Kurven betragen 25 - 50 m.
- Halteperrons: Je ein Seitenperron und Mittelperron à 45 m Länge
- Gleiswechsel: Der Gleiswechsel findet vor den Perrons statt. Die gegebene Geometrie, die Anzahl Haltekanten und die Bedingung, dass alle Fahrbahnen auf alle Haltekanten führen, wirken sich auf eine komplexe Ausgestaltung der Gleiswechsel aus und ein Stellwerk (bei Trambetrieben unüblich) wäre notwendig.
- Betrieb: Es können drei Trams à 42.5 m gleichzeitig auf den verfügbaren Gleisen abgestellt werden, ohne sich gegenseitig zu behindern. Eine gleichzeitige Ein- und Ausfahrt ist nicht in jedem Fall gegeben, da sich die Fahrstrassen kreuzen, je nachdem welche Haltekante angefahren wird, beziehungsweise von welcher das Tram losfährt. Unter diesen Umständen muss mittels einer Signalisation die Gleisbelegung geregelt werden. Wechselnde Haltekanten sind aus Sicht der Fahrgäste weniger komfortabel.
- Flächennutzung: Die Endhaltestelle ist der Strasse abgeneigt. Dies bewirkt freiwerdenden Raum zwischen der Haltestelle und der Strasse der allerdings nur bedingt anderweitig genutzt werden kann, insb. weil die Wendemöglichkeit für Busse erhalten bleiben muss. Die Qualität des freiwerdenden Raumes zwischen Haltestellte und Strasse ist als mässig einzustufen, da die Nutzbarkeit gering ist und sich die Anlage weniger gut in das Stadtbild integriert. Für die Erstellung werden die Nebenstrasse und der Wald nicht tangiert.

Kehranlage C:

Abbildung 7: vereinfachte Darstellung einer 3-gleisigen Kehranlage, parallel zur Strasse

- Kurvenradien: Die Radien der Kurven betragen 20 - 40 m.
- Halteperrons: Je ein Seitenperron und Mittelperron à 42.5 m Länge
- Betrieb: Es können drei Trams à 42.5 m gleichzeitig auf den verfügbaren Gleisen abgestellt werden, ohne sich gegenseitig an der Ein- bzw. Ausfahrt zu behindern. Ein Gleichzeitiges Ein- und Ausfahren von zwei Trams ist nur in zwei von drei Fällen möglich. Fährt ein Tram von der nördlichsten Haltekante aus, kreuzt es die Fahrbahn des einfahrenden Trams. In diesem Fall muss ein Tram warten, bis die entsprechende Fahrstrasse frei ist. Zusätzlich ist eine wechselnde Haltekante für Fahrgäste weniger komfortabel.
- Gleiswechsel: Der Gleiswechsel findet vor den Perrons statt. Aufgrund der gegebenen Geometrie und den Anforderungen ergibt sich eine komplexe Ausgestaltung der Gleichwechsel und es ist zur Regelung der Gleisbelegung und einer sicheren Ein- und Ausfahrt voraussichtlich ein Stellwerk nötig. Ein solches ist im Trambetrieb allerdings höchst unüblich, schwierig in die bestehende Betriebsordnung einzugliedern sowie in der Anschaffung und im Unterhalt teuer.
- Flächennutzung: Die Endhaltestelle ist parallel zu der Strasse ausgebildet. Dies bewirkt freiwerdenden Raum südlich der Haltestelle, jedoch fehlt dann eine Wendemöglichkeit für Busse. Die Qualität des freiwerdenden Raumes kann als gut eingeschätzt werden, da sich die Haltestelle gut in das Stadtbild integriert und der Raum eine hohe Nutzbarkeit aufweist. Für die Erstellung werden weder die Nebenstrasse noch der Wald tangiert.

Kehranlage D:

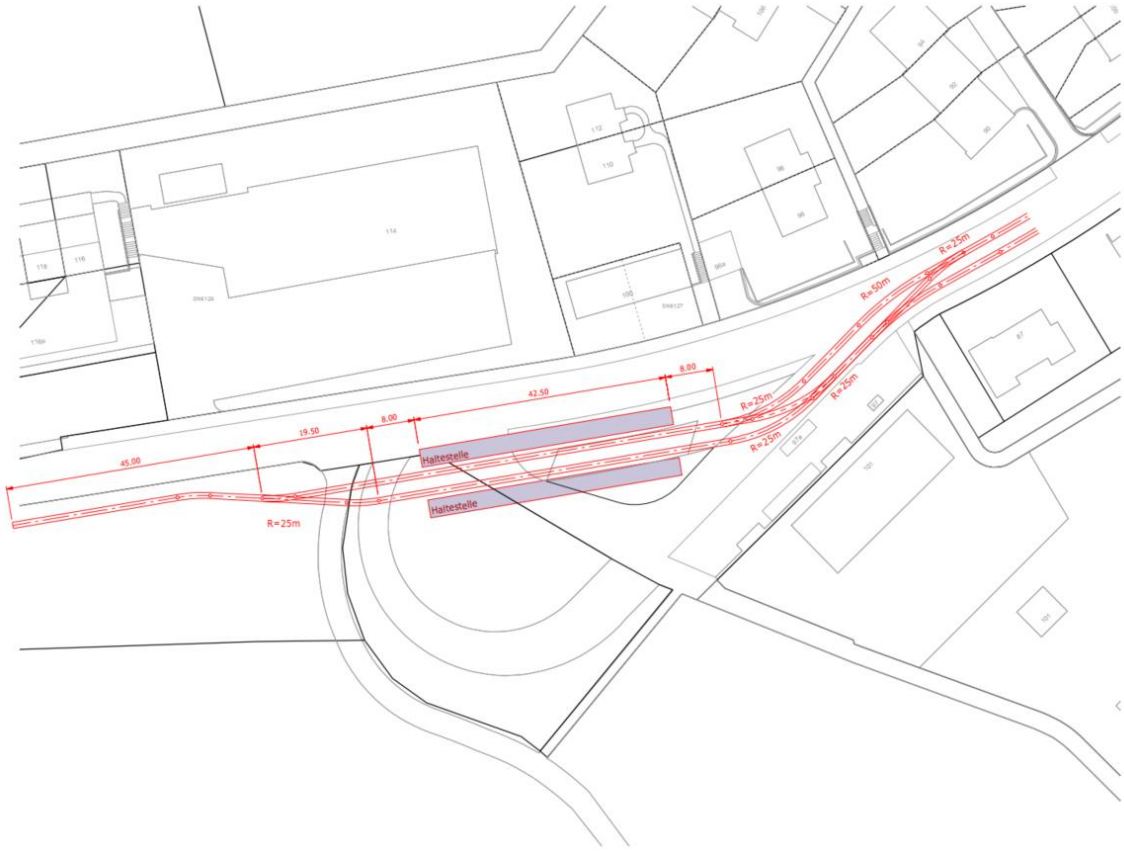


Abbildung 8: vereinfachte Darstellung einer 2-gleisigen Kehranlagen mit Auszuggleis und doppeltem Spurwechsel

- Kurvenradien: Die Radien der Kurven betragen 25 m.
- Halteperrons: Zwei Seitenperrons à 42.5 m Länge und ein zusätzliches Auszugs- bzw. Abstellgleis ohne Haltekante
- Spurwechsel: Es befindet sich ein doppelter Gleiswechsel in Richtung des Streckengleises sowie ein Auszugsgleis hin zum Stumpf, über welches ebenfalls die Spur gewechselt werden kann.
- Betrieb: Es können zwei Trams à 42.5 m gleichzeitig an den Haltekanten abgestellt werden. Ein drittes Tram steht auf dem Auszuggleis westlich der Haltekanten. Vom Auszuggleis können Trams erst auf eine freie Haltekante fahren, wenn eine der beiden Haltekanten frei ist. Das übliche Betriebsregime im Regelbetrieb wäre, dass Trams auf der nördlichen Haltekante Fahrgäste aussteigen lassen, anschliessend das Auszuggleis befahren, auf die südliche Haltekante fahrend das Gleis wechseln und anschliessend Fahrgäste zusteigen lassen. In dieser Ausführung können Trams gleichzeitig Ein- und Ausfahren, jedoch kann der Führerstandswechsel nicht gleichzeitig mit dem Fahrgastwechsel stattfinden, was zu einer längeren Wendezeit führt. Im Fall, dass ein defektes Tram auf dem Auszuggleis abgestellt werden muss, ist die volle Flexibilität der Anlage dank der doppelten Spurwechsel in Richtung der Strecke weiterhin gewährleistet. Zudem kann dank

diesem Spurwechsel bei Verspätung auf das Ausziehen verzichtet werden, was den Zeitbedarf für das Wenden reduziert.

- Flächennutzung: Die Endhaltestelle ist parallel zu der Strasse ausgebildet. Dies bewirkt freiwerdenden Raum südlich der Haltestelle. Die Qualität des freiwerdenden Raumes kann als gut eingeschätzt werden, da er sich auf der Strassenabgewandten Seite befindet. Dieser Raum wird jedoch durch die Wendemöglichkeit (hier nicht dargestellt) für Busse am nördlichen Rand tangiert. Für die Erstellung muss die Nebenstrasse gekreuzt und Wald abgeforstet werden. Die Integration in das Stadtbild ist an diesem Standort gut. An anderen Standorten könnte die grosse Längenausdehnung zu Problemen bezüglich der Integration oder Machbarkeit führen.

Nur mit einer Ausgestaltung wie in Variante D dargestellt, können sämtliche Anforderungen an eine Kehranlage am Linienende erfüllt werden. Mit den Varianten A bis C kann die geforderte Gleichwertigkeit zu einer Wendeschlaufe nicht erreicht werden, weshalb diese Anlagenformen nicht weiterverfolgt werden. Einfachere und ggf. kürzere Kehranlagen sind nur denkbar, wenn Abstriche bei den betrieblichen Anforderungen und somit der Betriebsstabilität hingenommen werden.

Somit wird Variante D als die Beste bewertet und folglich mit der bestehenden Wendeschlaufe detaillierter verglichen.

4.2.2 Vergleich einer Wendeschlaufe und Kehranlage anhand der Endhaltestelle Bümpliz

In diesem Abschnitt wird vertieft auf die unterschiedlichen Kosten zur Erstellung und Unterhalt der Infrastruktur an Endhaltestellen eingegangen, die hauptsächlich auf die abweichenden Infrastrukturelemente der beiden Systemtypen zurückzuführen sind. Der Vergleich hat einen fiktiven Charakter, da die Wendeschlaufe bereits besteht. Es wird deshalb angenommen, dass es sich beim Vergleich um die Situation handelt, dass die Anlage neu erstellt wird. Der reine Unterhaltsaufwand für Tramgleise, ohne die Weichen, kann bei den kurzen Gleislängen vernachlässigt werden.

Neubau Kehranlage:

Für die Endhaltestelle Bümpliz wird basierend auf der Variante D die fiktive Umgestaltung als Kehranlage betrachtet. Dabei wird auch eine Wendemöglichkeit für Busse bei einem allfälligen Ersatzbetrieb berücksichtigt. In Abbildung 9 ist eine entsprechende Schleppkurve in Blau eingezeichnet (Minimallösung).

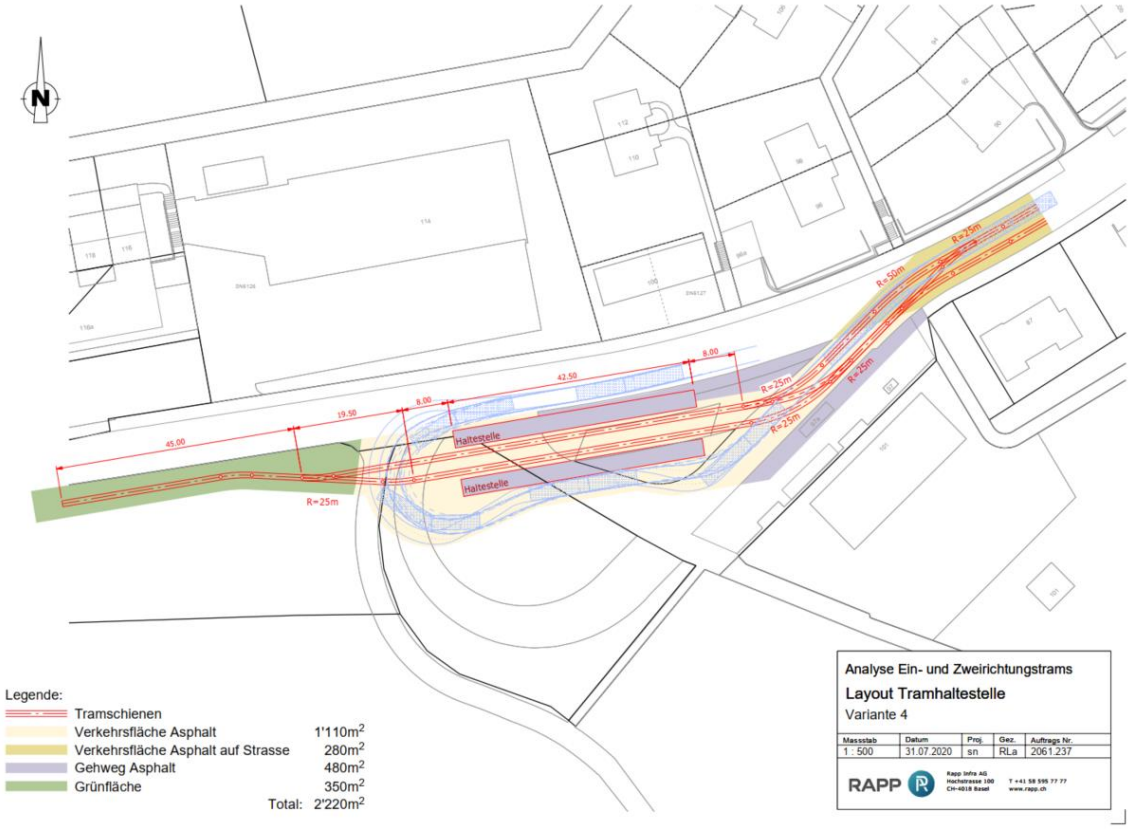


Abbildung 9 Detailplan der Bestvariante für eine Kehranlage in Bern Bümpliz.

Die typenspezifischen Infrastrukturelemente für diese Variante und deren geschätzte Kosten summieren sich mit einer Genauigkeit von ± 30% inklusive Steuern, Honoraren und Bauinstallationen auf ca. 5.8 Mio. CHF. Eine detaillierte Zusammenstellung der Kosten ist im Anhang ersichtlich.

Zusätzlich zu den Erstellungskosten ist mit jährlichen Unterhaltsaufwänden von 1'725.- CHF für die Fahrleitungen sowie 22'500.- CHF für die fünf Weichen zu rechnen, siehe 4.1.1.

Wendeschlaufe bestehend:

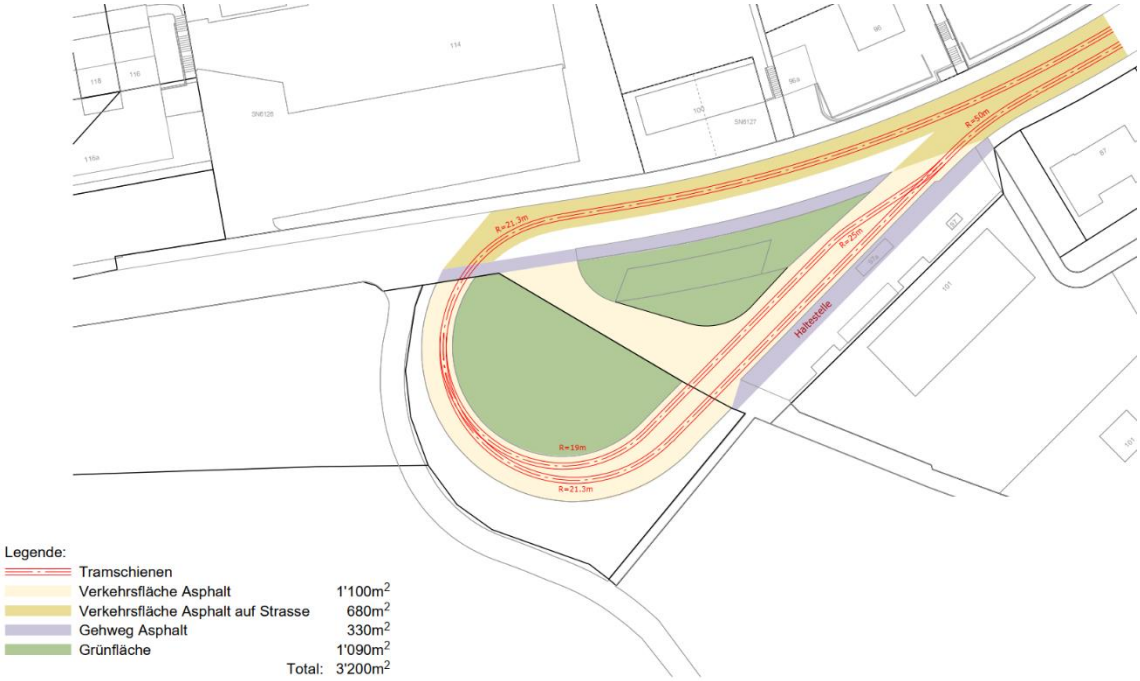


Abbildung 10 Detailplan der bestehenden Wendeschlaufe in Bern Bümpliz

Die bestehende Wendeschlaufe bietet Platz für drei Fahrzeuge, eines an der Haltekante, eines auf dem Abstellgleis und ein drittes kann zwischenzeitlich in der Kurve abgestellt werden. Aus betrieblicher Sicht erlaubt diese Ausführung das gleichzeitige Ein- und Ausfahren von Trams. Das zusätzliche Abstellgleis kann aufgrund der Höhenunterschiede in der jetzigen Ausführung nicht als barrierefreie Haltekante genutzt werden.

Trotz der grossen Dimensionen integriert sich die Anlage gut in das Stadtbild. Der Raum im inneren der Schlaufe kann gut genutzt werden, z.B. als Parkplätze, Gehweg, Grünfläche.

Die Kosten für diese Ausführung, mit den spezifischen Infrastrukturelementen, Honoraren, Gebühren, Installationen und Steuern, wird mit einer Genauigkeit von ± 30 % auf 6.1 Mio. CHF geschätzt. Dies berücksichtigt die Annahme, dass die Wendeschlaufe von Grund auf neu erstellt wird. Eine detaillierte Auflistung der einzelnen Positionen findet sich im Anhang.

Die zusätzlichen jährlichen Unterhaltsaufwände belaufen sich schätzungsweise auf 1'950.- CHF für die Fahrleitungen und 15'000.- CHF für die Weichen. Da kleine Radien und lange Bögen, wie dies bei der betrachteten Wendeschlaufe der Fall ist, die Lebensdauer von Gleisen in Kurven verkürzen, kann mit einer maximalen Lebensdauer der Gleise in der Wendeschlaufe von 20 Jahren ausgegangen werden, siehe 4.1.1.

Systemvergleich:

Zu den hergeleiteten Kosten für die Endhaltestellen kommen noch zusätzliche Kosten wie Baustelleninstallationen, Kleinpositionen und Verschiedenes, Honorare, Gebühren und Versicherungen sowie die Mehrwertsteuer dazu. Diese Positionen werden in Vorstudien als prozentualer Satz der Gesamtsummen abgeschätzt. Eine detaillierte Auflistung dieser Angaben ist im Anhang ersichtlich.

Da auf die allgemein betrieblichen Unterschiede bereits in 3.2.4 detailliert eingegangen wird, konzentrieren sich die Unterschiede auf infrastrukturspezifischen Eigenschaften des betrachteten Beispiels.

Endhaltestelle Bern Bümpliz	Wendeschlaufe	Kehranlage
Fokus		
Betrieb	Busse können im Störungsfall bei beiden Ausführungen wenden.	
	Es ist nur eine erhöhte Haltekante und ein Abstellgleis vorhanden.	Es sind zwei Haltekanten und ein Auszuggleis vorhanden.
	+ In allen betrieblichen Situationen sind keine Behinderungen zwischen ein- und ausfahrenden Trams zu erwarten. Ein Überholen/Umfahren eine blockierten/abgestellten Trams ist möglich.	- Ein Überholen eines abgestellten/blockierten Trams ist nur mit einer zweiten Weichenverbindung auf der Streckenseite möglich
Fahrgast	Die Wendeschlaufe ist nicht vollständig BehiG-konform und müsste entsprechend nachgerüstet werden.	Die Kehranlage ist BehiG-konform ausgestattet.
Öffentlichkeit	Die Fahrt durch die Kurve mit einer Bogenlänge von 80 m und einer Geschwindigkeit von 10 km/h dauert ca. 30 Sekunden, während dieser Zeit fallen erhöhte Lärmemissionen an.	Tiefe Lärmemissionen zu erwarten da die Bogenlängen der Kurven kurz sind. Andererseits entsteht beim Befahren der Weichen ebenfalls Lärm.
	Insgesamt wird die benötigte Fläche auf 3'200 m^2 geschätzt. Innerhalb der Schlaufe befindet sich heute eine kleine P+R-Anlage.	Die benötigte Fläche wird auf 2'200 m^2 geschätzt, die Differenz von ca. 1'000 m^2 könnte anderweitig verwendet werden, wobei dann die P+R-Anlage entfiele.
	Die Einwirkungen auf die Waldfläche sind auf ein Minimum reduziert. Dies führt zu einer Geometrie mit der Haltekante teilweise in gebogenem Gleis.	Es müssten Bäume gerodet werden, um die Anlage in den gewählten Dimensionen umzusetzen.
	Die Haltestelle fügt sich gut in das lokale Stadtbild ein. Sie ist auf kürzerer Länge, dafür etwas breiter erstellt und erlaubt eine klare Abtrennung der Verkehrsfläche.	Die Längsausdehnung der Anlage wird sehr gross. Dies kann zu einem leicht veränderten Stadtbild führen. Die klare Abtrennung der Verkehrsfläche wirkt begünstigend auf das Erscheinungsbild
Kostenträger	Reduzierte Lebensdauer aufgrund der längeren gebogenen Gleise und tieferen Radien.	Die Lebensdauer der Kehranlage wird von den Weichen bestimmt, welche nach 15-20 Jahren erreicht wird.
	Für die Aufrüstung der 2. Haltekante ist mit Infrastrukturelementkosten von ca. 45'000.- CHF zu rechnen[10].	Die Mehrkosten für die zweite Haltekante sind bereits in der Kalkulation berücksichtigt.
Fazit	Für die Kehranlage fallen ähnlich hohe Investitionskosten an wie für eine Wendeschlaufe; der Raumbedarf ist geringer, jedoch macht die längliche Form die räumliche Einbettung nicht grundsätzlich einfacher.	

[10] Es ist eine zusätzliche asphaltierte Fläche von 83 m^2 à 300 CHF pro m^2, sowie ein Randstein entlang der Haltekante von 42.5 m Länge à 500.- CHF pro m notwendig.

Beurteilung:

Wendeschlaufen mit engen Radien führen zu erhöhtem Verschleiss an der Gleisanlage. Dies wirkt sich auf eine verkürzte Lebensdauer aus. Andererseits bedingen die 5 Weichen (heutige Wendeschliefe 2 Weichen) einen erhöhten Unterhaltsaufwand. Auch wenn der Flächenbedarf um 1'000 m^2 tiefer ist, gestaltet sich die räumliche Einordnung der Kehranlage in der betrachteten Situation aufgrund ihrer Länge nicht einfacher als jene der Wendeschlaufe.

Bei Kehranlagen bestimmen die Weichen die Lebensdauer. Die Lebensdauer der Wendeschlaufe ist in erster Linie vom Gleisbogen abhängig und in etwa gleich lang wie die Weichen bei einer Kehranlage. Am Ende der Lebensdauer muss jedoch mit höheren Reinvestitionskosten bei Wendeschlaufen gerechnet werden. Bei den gestellten Anforderungen sind die Investitionskosten für eine Kehranlage in einer vergleichbaren Grössenordnung wie für eine Wendeschlaufe.

Die Integration in das Stadtbild ist sehr standortspezifisch und kann nicht abschliessend beurteilt werden. Am gewählten Standort ist die Integration für beide Fälle möglich. In anderen Situationen könnte die Längsausdehnung bei Kehranlagen oder der hohe Raumbedarf bei Wendeschlaufen die Integration erschweren. Es existiert daher keine Standardlösung, die für jede Situation adäquat ist. Kehranalagen sind gegenüber Wendeschlaufen räumlich einfacher einzuordnen, setzen demgegenüber aber Kehranalagen setzen auch keine städtebaulichen Akzente, wie dies bei gut ausgestalteten Wendeschlaufen möglich ist.

4.3 Betriebliche Auswirkungen

Die Wendeanlage wurde im vorliegenden Beispiel so ausgelegt, dass sie sämtliche betrieblichen Anforderungen, wie sie sich aus dem heutigen Betrieb – mit Ausnahme des Einsatzes von ERF – ergeben, erfüllt. So bietet die Endhaltestelle weiterhin Platz für drei Tramzüge und es ist eine konfliktfreie gleichzeitige Ein- und Ausfahrt von zwei Fahrzeugen möglich. Dies setzt jedoch ein Auszuggleis voraus, was zur dargestellten Längenausdehnung der gesamten Anlage führt. Die volle Flexibilität einer Wendeschlaufe mit Ausweichgleis ist trotzdem nicht zu erreichen.

Die einschneidendste betriebliche Auswirkung der hypothetischen Umgestaltung der Endhaltestelle in Bümpliz wäre, dass auf der heutigen Linie 7 nur noch ZRF eingesetzt werden könnten.

5 Migration des heutigen Tramnetzes anhand zweier Szenarien

Die technisch orientierten Arbeiten der vorhergehenden Kapitel liefern die Grundlage für die Entwicklung von Szenarien einer teilweisen oder vollständigen Umstellung des Berner Tramnetzes auf Zweirichtungsfahrzeuge und sollen aufzeigen, inwiefern eine solche Umstellung sinnvoll ist.

Es werden zwei Szenarien skizziert, um den teilweisen beziehungsweise kompletten Umstieg auf ZRF darzustellen. Mit teilweise «extremen Annahmen» soll in diesen Szenarien eine Spannbreite aufgezeigt werden, welche es erlaubt, Nutzen und Grenzen der jeweiligen Systeme auszuloten.

Für die Migrations-Szenarien werden qualitativ die Vor- und Nachteile aus Kundensicht, Wirtschaftlichkeit und den Betrieb des Tramnetzes vergleichend dargestellt. Das Ziel ist

aufzuzeigen, inwiefern eine (teilweise) Umstellung auf ZRF sinnvoll ist. In Abbildung 11 ist ein schematischer Netzplan des Berner Tramnetzes, wie er für die Szenarien angenommen wird, vereinfacht dargestellt.

Beide Szenarien betrachten den Zeithorizont 2040:

- Auf diesen Zeitpunkt hin steht der Ersatz der ersten Serie der Combino-Trams (alles ERF) an, womit sich die Gelegenheit für eine Aufstockung des Bestandes an ZRF bietet[11].
- sofern an den heutigen Planungen festgehalten wird, kann davon ausgegangen werden, dass dannzumal auch das Tram Länggasse realisiert ist (in Abbildung 11 in Anlehnung an das Ende 1950er-Jahre eingestellte Tram in der Länggasse als Linie 5 bezeichnet).
- Die Szenarien und die darin angenommenen Linienverknüpfungen sind fiktiv und dienen der Darstellung der zuvor aufgezeigten Aspekte in einem Gesamtkontext. Sämtliche Annahmen haben daher keine präjudizierende Wirkung.
- Einzelne Annahmen sind rein theoretisch und zum Herausschälen bestimmter Auswirkungen gewählt. Sie sind daher nicht immer sinnhaft.

Netzplan

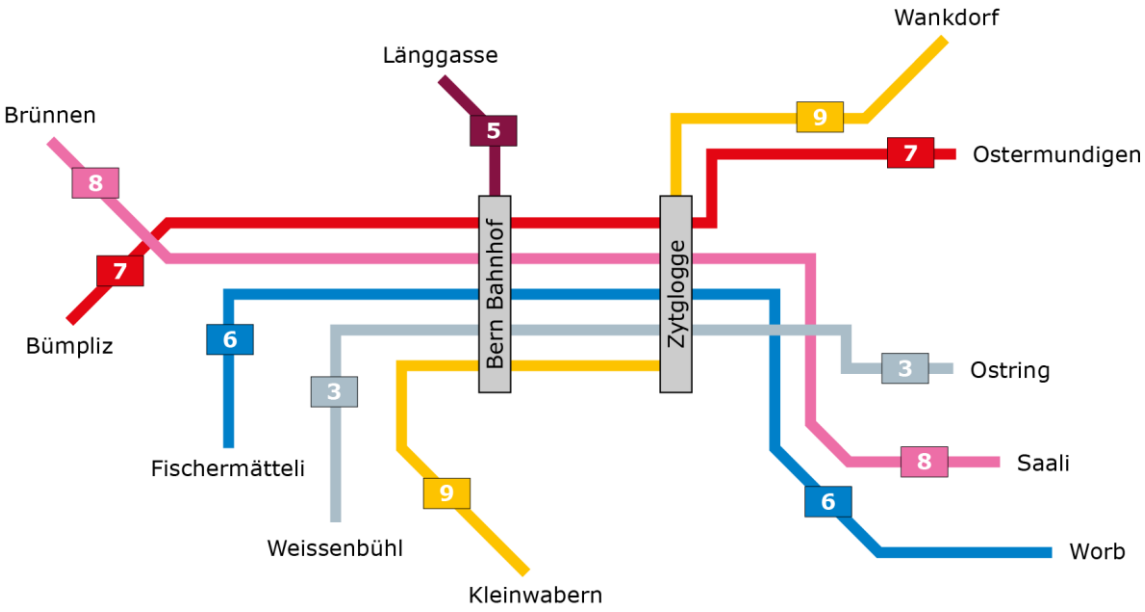


Abbildung 11: Schematischer Netzplan des Berner Tramnetzes 2040

5.1 Szenario 1: Teilweise Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge

5.1.1 Ausgangslage

Annahmen zum Tramnetz und zur Infrastruktur:

- Nach derzeitiger Planung kann davon ausgegangen werden, dass bis 2040 die Tramerweiterungen nach Ostermundigen sowie die Tramachse Länggasse realisiert sind. Die Strecke

[11] Zur besseren Vergleichbarkeit wird für beide Szenarien derselbe Zeithorizont gewählt. Bei einer Nutzung aller ERF bis zu deren Lebensende (ca. 30-40 Jahre) wäre ein vollständiger Ersatz aller ERF durch ZRF erst nach 2060 umgesetzt.

nach Ostermundigen wird mit Wendeschlaufen erstellt, für das Tram Länggasse, welches in der Planung noch weniger weit fortgeschritten ist, wird hingegen für das Szenario angenommen, dass die Endhaltestelle als Kehranlage realisiert wird. Dies bedingt, dass auf dieser Linie keine ERF eingesetzt werden können, was den Spielraum für Ersatzbetriebe einschränkt. Zusätzliche Betriebskehranlagen sind auf dieser relativ kurzen Strecke nicht vorgesehen.

- Die Länge des Tramastes Länggasse beträgt vom Bahnhof Bern aus 1.5 km und bedient dabei 5 Haltstellen. Die Tramlinie wird im Mischverkehr mit dem MIV und LV operieren. Zudem steht in diesem Bereich eine Tempo 30 Zone zur Diskussion. Es ist somit von einer Fahrzeit des Trams zwischen Bahnhof und Länggasse von 8 Minuten auszugehen[12].
- Für das bestehende Berner Tramnetz wird davon ausgegangen, dass bis 2040 die der laufenden Beschaffung von ZRF zugrunde gelegten Kehranlagen und das Gleisdreieck Viktoriaplatz realisiert sind.
- Die vorhandenen Wendeschlaufen im Netz von Bernmobil bleiben bestehen und werden auch von ZRF benutzt, um die Wendezeiten kurz zu halten.
- Alle Haltestellen sind mit Seitenperrons ausgestattet. An Kehranlagen bei Linien mit reinem ZRF-Betrieb sind Mittelperrons möglich.

Annahmen zu den Fahrzeugen und zum Betriebseinsatz:

- Ab 2036 muss die erste Serie der Combino-Trams ersetzt werden. Dabei bietet sich die nächste Gelegenheit für einen Ersatz von 10 ERF durch ZRF. Für den restlichen Teil der Serie werden wiederum ERF beschafft. Im Szenario 1 wird daher davon ausgegangen, dass ab 2040 zusätzlich 10 ZRF im Einsatz stehen werden.
- Für das Tram Länggasse (Linie 5) werden 3 ZRF benötigt.
- Die Linie 6, zwischen Fischermätteli und Worb, verkehrt mit ZRF. Während den Verkehrsspitzen sind 13 Fahrzeuge nötig, um eine Taktfolge von 7.5 Minuten einzuhalten.
- Die Linie Bern – Ostermundigen wird mit dem Ast Bümpliz der heutigen Linie 7 durchgebunden und verkehrt im Regelbetrieb mit ERF. Dafür werden 11 ERF benötigt.
- Die Linie 8 Sali – Brünnen wird auf ZRF umgestellt. Vorausgesetzt, die heutigen Umlaufzeiten können auch mit den ZRF eingehalten werden, werden hierfür 11 Fahrzeuge benötigt.
- Die Linie 3 wird neu mit dem Ast Ostring der bisherigen Linie 7 verknüpft. Für diese erweiterte Linie 3 werden für einen 6 Min.-Takt 9 ERF benötigt.
- Die Linie 9 bleibt abgesehen von der Verlängerung Kleinwabern unverändert und wird im Normalbetrieb weiterhin mit ERF bedient.
- Zur Abschätzung des Fahrzeugbedarfs bei einem geplanten Streckenunterbruch wird der Störungsfall «Zytglogge total» zugrunde gelegt. Dies ist für den Bedarf an GAB der kritische Fall

[12] 4 Minuten Fahrzeit mit 20 km/h sowie zusätzlich 4 Minuten Haltezeit

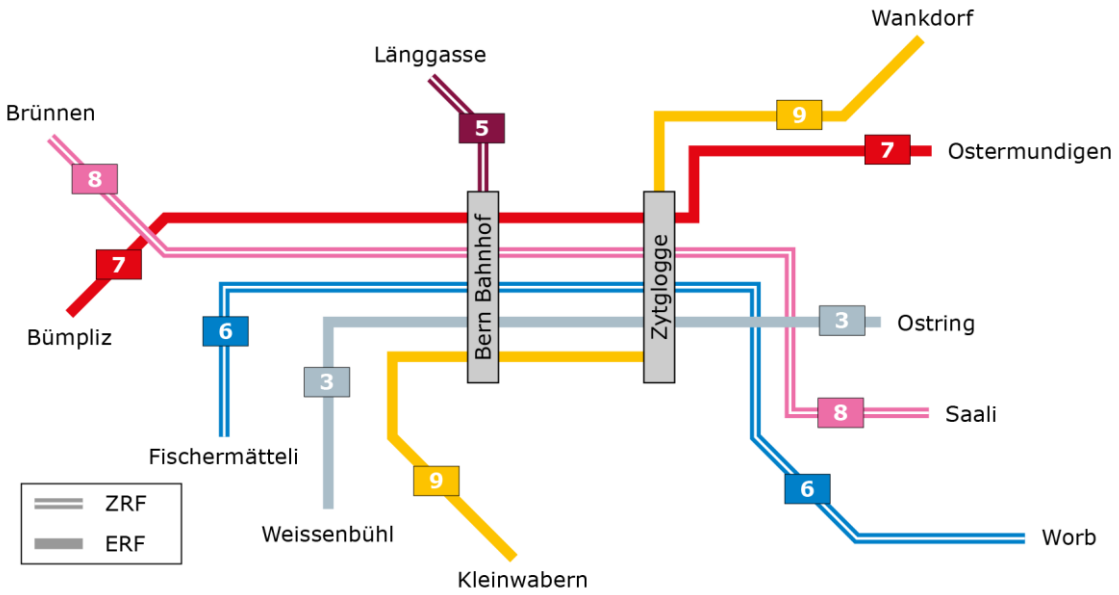


Abbildung 12: Schematischer Netzplan Szenario 1 mit Fahrzeugeinsatz

Typ / Serie	Beschaffungs-zeitraum	Anzahl ERF	Anzahl ZRF	Total	Bemerkung
Tramlink 1. Serie	2023-2025	7	20	27	Ersatz für Vevey und Tram 2000 / Mehrbedarf Linie 9
Tramlink 2. Serie	ab 2027	11	0	11	Mehrbedarf für TBO
Neubeschaffung	ab 2036	8	10	18	Ersatz für 1. Serie Combino / Mehrbedarf Tram Länggasse
Combino XL	2009-2010	21	-	21	
Total		47	30	77	

Tabelle 3: Fahrzeugbestand Szenario 1

Mit der vorgesehenen Migration wären 2040 30 ZRF vorhanden. Für den regulären Betrieb der Linien 6, 8 und Länggasse werden 27 ZRF benötigt, die restlichen 3 Fahrzeuge werden im Mischbetrieb mit ERF eingesetzt bzw. dienen als Reserve.

5.1.2 Folgen einer teilweisen Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge

In erster Linie werden die Mehrkosten zwischen den beiden Systemen berechnet und nicht die Gesamtkosten.

Fahrzeugkosten:

Es sind gesamthaft 27 ZRF plus 3 als Reserve nötig. Mit geschätzten Mehrkosten von 500'000 CHF pro ZRF gegenüber ERF resultieren 15 Mio. CHF zusätzliche Beschaffungskosten. Dabei ist anzumerken, dass die bereits 20 bestellten ZRF davon 10 Mio. CHF ausmachen und nicht

als direkte Mehrkosten des Szenarios behandelt werden dürfen. Der Mehraufwand im Betrieb beträgt über die gesamte Lebensdauer aller 30 ZRF 6.3 Mio.[13] CHF.

Infrastrukturkosten:

Für eine Kehranlage an der Endhaltestelle des Trams Länggasse werden die zu erwartenden Baukosten von 5.8 Mio. CHF aus dem Beispiel entnommen (siehe Kap. 4.2.2). Im Vergleich zu einer Wendeschlaufe kann mit Minderkosten von 0.3 Mio. CHF gerechnet werden. Zusätzlich werden für den Landerwerb bei einem Flächenbedarf von 2'200 m^2 und einem Landpreis von 2'290 CHF/m^2 (Kanton Bern, Amt für Wirtschaft, 2020) rund 5 Mio. CHF veranschlagt. Gegenüber einer Wendeschlaufe fallen diese Kosten um ca. 2.3 Mio. CHF tiefer aus. Insgesamt ergibt sich somit eine Einsparung der Infrastrukturkosten beim Bau des Trams Langgasse von rund 2.6 Mio. CHF. Bei geschätzten Investitionskosten für das Tram Länggasse von 97 Mio. CHF (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion Kanton Bern 2018) entspricht dies einer Reduktion von ca. 2.7 % der Investitionskosten.

Für die vier zusätzlich erforderlichen Betriebskehranlagen liegen die Kosten gemäss Abschätzungen im Vorfeld der laufenden Trambeschaffung durchschnittlich bei 1.9 Mio. CHF pro Anlage, bzw. 7.6 Mio. CHF in der Summe. Diese Kosten sind direkt mit der derzeit laufenden Trambeschaffung verbunden. Ohne diese Infrastrukturmassnahmen könnte der Nutzten der bestellten ZRF nicht realisiert werden. Sie stehen deshalb unabhängig vom beschriebenen Szenario, werden aber dennoch hier miteinbezogen, weil sie eine Grundvoraussetzung für die Beschaffung weiterer ZRF sind.

Kostenpunkt	**Betrag**
Einsparungen durch ZRF bei den Baukosten der Endhaltestelle Länggasse	- 0.3 Mio. CHF
Einsparungen durch ZRF für Landkosten der Endhaltestelle Länggasse	- 2.3 Mio. CHF
Erstellung Betriebskehranlagen für ZRF	+ 7.6 Mio. CHF
Total Infrastrukturkosten im Zusammenhang mit ZRF in Szenario 1	**+ 5.0 Mio. CHF**

Den durch die ZRF bedingten Infrastrukturkosten von ca. 7.6 Mio. CHF für die vier neuen Kehranlagen steht beim Bau des Trams Länggasse eine Einsparung durch den mit ZRF möglichen Verzicht auf eine Wendeschlaufe von ca. 2.6 Mio. gegenüber.

Der Unterschied zwischen den beiden Systemen bezüglich der Unterhaltskosten von Wendeschlaufen und Kehranlagen ist gering und fällt nicht ins Gewicht.

Flächenbedarf:

Für die Endhaltestelle Länggasse kann davon ausgegangen werden, dass für die Kehranlage 1'000 m^2 weniger Grünfläche nötig ist gegenüber einer Wendeschlaufe, wobei zu erwähnen ist, dass schon heute die Freiflächen innerhalb von Wendeschlaufen auf verschiedene Weisen genutzt werden (Kioske, kleine Parks, etc.).

Betrieb:

Die Unterschiede bezüglich Transportkapazität sowie Mehrbedarf an Fahrzeit aufgrund verzögertem Fahrgastwechsel erfordern ggf. in der HVZ einen zusätzlichen Fahrzeugumlauf, dessen Kosten hier nicht berücksichtigt sind. Grundsätzlich werden auch ZRF über die

[13] 30 ZRF * 30 Jahre * 70’000 km * 0.1 CHF/km

vorhandenen Kehrschlaufen wenden, womit die bisherige Pufferzeit am Linienende von mind. 4 Min. zur Fahrplanstabilisierung zur Verfügung steht. Inwiefern dies ausreichen wird, um die längeren Fahrgastwechselzeiten auszugleichen, kann derzeit nicht abschliessend beurteilt werden. Auf eine Quantifizierung der Kostenfolgen über das ganze Netz wird daher verzichtet.

Flexibilität im massgebenden Störfall:

Betrachtet wird der für das Berner Tramnetz massgebende Störfall, dass der Trambetrieb zwischen Hauptbahnhof und Zytglogge geplant eingestellt werden muss. Die Durchbindung sämtlicher Linien fällt weg und es wird die Möglichkeit zur Aufrechterhaltung des Trambetriebs auf dem östlichen und westlichen Teil des Netzes untersucht. Der hier untersuchte Störfall und die vorgeschlagene Lösung für den Restbetrieb basieren auf früheren Untersuchungen im Vorfeld der laufenden Trambeschaffung. Eine schematische Darstellung ist in Abbildung 13 ersichtlich:

- Ausser der Tramverlängerung Länggasse (Linie 5), die mit 3 ZRF den Betrieb zwischen Bahnhof und Länggasse aufrechterhält, verkehren alle Tramlinien westlich der Zytglogge bzw. des Bahnhofs Bern mit ERF und wenden über die zwei Wendeschlaufen an der Schwanengasse.
- Die Linie 6 verkehrt zwischen Worb und Casinoplatz mit 6 ZRF in einem 10 Minuten Takt. Es wird kein zusätzlicher Busersatzbetrieb für diese Linie eingesetzt. Die Passagiere können an der nahgelegenen Bushaltestelle Zytglogge mit den Buslinien 12 und 19 weiterreisen.
- Die Linien 3 und 8 verkehren mit ZRF zwischen Helvetiaplatz und Ostring respektive Saali und benötigen dafür je drei ZRF. Ein Busersatzbetrieb zwischen Bahnhof Bern und dem Helvetiaplatz verkehrt im 3 Minuten Takt und benötigt dazu 5 Busse.
- Die Linien 7 (TBO) und 9 verkehren zwischen der Betriebskehranlage Kursaal und Wankdorf respektive Oberfeld. Dazu werden total 8 ZRF benötigt, um die Linien in einem Takt von 10 Minuten zu bedienen. Ein Busersatzbetrieb überbrückt den ausgefallenen Teil zwischen Bahnhof Bern und dem Kursaal und benötigt dazu 6 Fahrzeuge und hält somit einen 3 Minuten-Takt aufrecht. Für den Restbetrieb wird von einem leicht ausgedünnten Takt ausgegangen, da solch umfassende Unterbrüche grundsätzlich während verkehrsschwachen Zeiten z. B. während der Sommerferien eingeplant werden. Somit ist auch ein leicht ausgedünnter Takt zur Bewältigung der reduzierten Nachfrage ausreichend.

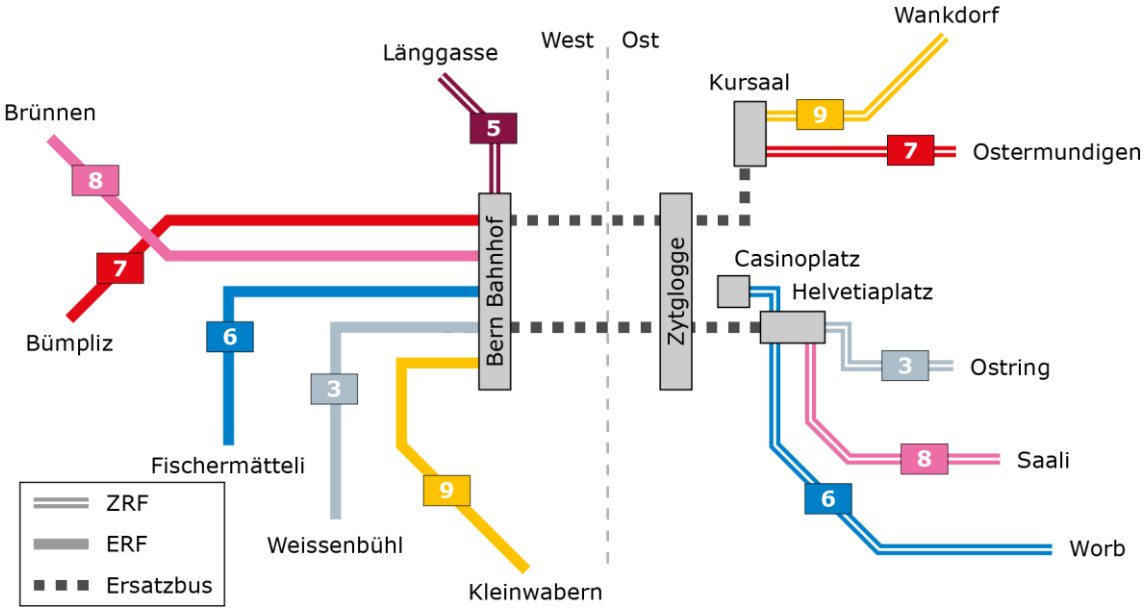


Abbildung 13: Schematischer Netzplan Störungsfall Zytglogge

Zusätzlich zu den eingesetzten 26 ZRF sind noch weitere Fahrzeuge zur betrieblichen Reserve zu berücksichtigen. Mit 30 vorhandenen ZRF kann der Unterbruch Zytglogge, der insgesamt 26 ZRF und 11 Gelenkbusse benötigt, gut überbrückt werden.

Linie	ZRF	Ersatzbusse
Linie 6	6	0
Linie 3	3	5
Linie 8	3	
Linie 9	4	6
Linie 7 (TBO)	4	
Linie 5 (Länggasse)	3	0
Reserve	3	
Total	26	11

Im Vergleich mit den Szenarien, welche der laufenden Trambeschaffung zu Grund liegen, kann durch die im vorliegenden Szenario 1 zusätzlich vorhandenen ZRF der Restbetrieb im östlichen Teilnetz vollständig mit Trams erbracht werden und der Bedarf an GAB um 5 Fahrzeuge auf 11 GAB (ohne Reserve) reduziert werden, allerdings zum Preis, dass zusätzlich 3 ZRF benötigt werden (um Mehrbedarf Tram Länggasse bereinigt und ohne Berücksichtigung der Reserve). Bezogen auf die Lebensdauer eines Busses fallen jährlich Kosten von 15'000.- CHF/Bus an. Dieser Wert berücksichtigt neben der Beschaffung auch den Betrieb und den Unterhalt. Mit einer Reduktion der Busflotte um 5 Fahrzeuge können somit über die Lebensdauer der ZRF von 30 Jahren gesamthaft 2.25 Mio. CHF eingespart werden. Die Mehrkosten der 3 ZRF belaufen sich über die gesamte Lebensdauer auf 2.1 Mio. CHF, zusammensetzend aus Beschaffung 1.5 Mio. CHF und Betrieb + 0.63 Mio. CHF. Somit fallen durch die zusätzliche Beschaffung der 3 ZRF leicht geringere Kosten an.

Auf dem westlichen Netz kann der Restbetrieb vollständig mit ERF erbracht werden.

Aufgrund des dargestellten Störfalles wird ersichtlich, dass bei einer geplanten Unterbrechung der Tramhauptachse Hauptbahnhof – Zytglogge mit 26 ZRF ein vollständiger Restbetrieb mit Total 77 Trams auf den beiden geteilten Netzen im Osten und Westen aufgezogen werden kann. Für den Ersatzbetrieb reichen dannzumal 11 GAB. Eine weitere Reduktion der GAB ist durch zusätzliche ZRF nicht mehr möglich. Mit einem Bestand an rund 30 ZRF ist somit für den Störfall ein Optimum erreicht, sofern auch zukünftig keine derzeit vorhandenen Wendeschlaufen durch Kehranlagen ersetzt werden.

Zwischenfazit:

Kostenseitige Auswirkungen	**Gesamt**	**Davon bereits geplant**
Mehrkosten bei Beschaffung ZRF	15 Mio. CHF	10 Mio. CHF
Mehrkosten Betrieb ZRF über gesamte Lebensdauer	6.3 Mio. CHF	4.2 Mio. CHF
Mehrkosten für Infrastrukturanlagen	7.6 Mio. CHF	7.6 Mio. CHF
Einsparung Endhaltestelle Länggasse durch ZRF	- 2.6 Mio. CHF	
Reduktion Vorhaltekosten GAB	- 2.2 Mio. CHF	
Saldo	**24.1 Mio. CHF**	**21.8 Mio. CHF**

Im vorliegenden Szenario wird nur das Tram Länggasse bereits beim Bau auf ZRF ausgerichtet. Diese Achse ist jedoch zu kurz, als dass eine Etappierung sinnvoll wäre, welche mit ZRF und dem Bau einer (provisorischen) Betriebskehranlage grundsätzlich möglich ist. Somit kann dieser Vorteil von ZRF in diesem Szenario nicht realisiert werden.

Der Mehrbedarf an Fahrzeit aufgrund erhöhter Fahrgastwechselzeit bei ZRF kann durch die eingeplante Pufferzeit von 4 Minuten an Linienenden nur bei ansonsten stabilem Betrieb ausgeglichen werden, es wird aber davon ausgegangen, dass ggf. einzusetzende Dispofahrzeuge der betrieblichen Reserve entnommen werden können und deswegen keine zusätzlichen ZRF zu beschaffen sind. Für wartende Fahrgäste sind besonders an Haltestellen gegen das Linienende und hoher Auslastung zuweilen Verspätungen im Minutenbereich bemerkbar.

Auf der Linie 8, wo in Normalbetrieb nur ZRF eingesetzt werden, ergibt sich eine Kapazitätsreduktion von knapp 6 % gegenüber einem Einsatz von ERF. Bei der Linie 6 ergeben sich dagegen keine Veränderungen, weil diese Linie bereits heute mehrheitlich mit ZRF betrieben wird.

Da noch ERF eingesetzt werden, die einen höheren Anteil an Sitzplätzen aufweisen, ist die Sitzplatzverfügbarkeit und damit der Komfort in Szenario 1 gegenüber einer vollständigen Umstellung als besser zu beurteilen.

Die Inbetriebnahme von Kehranlagen mit Mittelperrons mindert den Fahrgastkomfort, da einerseits wechselnde Haltekanten verwirren und andererseits wechselnde Halteseiten den Fahrgastfluss stören, da sich evtl. Personen, Kinderwagen oder Velos vor den Türen befinden. Dies ist jedoch auf die Linienende beschränkt und fällt daher kaum ins Gewicht.

Die Integration der Kehranlage Länggasse kann aufgrund der vorhandenen Platzverhältnisse und der am Stadtrand nicht besonders anspruchsvollen städtebaulich Situation nach einer ersten Betrachtung voraussichtlich leichter umgesetzt werden. Auch die zusätzlichen Betriebskehranlagen entlang der Linie 6 und TBO sind problemlos in die bestehenden Trassen zu integrieren und fallen daher visuell kaum auf.

Mit der Möglichkeit, ZRF flexibel auf dem Netz einzusetzen, kann die Betriebsstabilität und Flexibilität bei geplanten Ereignissen gesteigert werden. Die zusätzlichen ZRF und Kehranlagen erlauben einen umfangreichen Restbetrieb mit Trams im planbaren Störfall. Die Anzahl der Busse kann mit der vorhandenen Busreserve von 12 Fahrzeugen abgedeckt und die Vorhaltekosten für die Busse tief gehalten werden.

Verkehren ERF im Mischverkehr mit ZRF auf derselben Linie, können die ZRF in einem ungeplanten Störfall weiterhin durch die ERF blockiert werden. Daher ist der Nutzen vorwiegend auf geplante Störfälle beschränkt. Allenfalls ist ein kurzfristiger Restbetrieb möglich, wenn nur eine der beiden rein mit ZRF betriebenen Linien betroffen ist.

Die Lärmemissionen gehen kaum zurück, da wo vorhanden auch ZRF via Schlaufen wenden und zudem beim Befahren der Weichen in Kehranlagen ebenfalls Lärm entsteht. Die Bögen in Wendeschlaufen fallen im Vergleich zum gesamten Netz kaum ins Gewicht und der Nutzen ist daher ohnehin nur lokal. Zudem ist davon auszugehen, dass modernere Fahrzeuge allgemein beim Befahren von Bögen weniger Lärm verursachen.

5.2 Szenario 2a: Vollständige Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge mit weitgehendem Ersatz von Wendeschlaufen durch Kehranlagen

Der gesamte Betrieb ist auf ZRF ausgelegt. ERF sind alle ausgemustert und durch ZRF ersetzt worden. Die vorhandenen Wendeschlaufen werden soweit betrieblich möglich durch Kehranalagen ersetzt.

5.2.1 Ausgangslage

Annahmen zum Tramnetz und zur Infrastruktur:

- Nach derzeitiger Planung kann davon ausgegangen werden, dass bis 2040 die Länggasse realisiert ist.
- Für das Tram Länggasse wird angenommen, dass die Endhaltestelle als Kehranlage realisiert wird. Zusätzliche Betriebskehranlagen sind auf dieser relativ kurzen Strecke nicht vorgesehen.
- Für das restliche Berner Tramnetz wird davon ausgegangen, dass die bei einem reinen Einsatz von ZRF nicht mehr benötigten Wendeschlaufen durch Kehranlagen ersetzt werden, auch an den Linienenden. Die so gewonnen Flächen stehen für andere Nutzungen zur Verfügung.
- Neue oder umzubauende Haltestellen werden je nach Situation mit Mittel- oder Seitenperrons ausgestattet.

Annahmen zu den Fahrzeugen und zum Betriebseinsatz:

- Neben den ohnehin zu ersetzenden Combino-Trams der ersten Serie werden auch die 21 jüngeren Combino XL sowie die erst 2019 bestellten Tramlink-ERF ersetzt[14]. Somit besteht ab 2040 die gesamte Flotte von Bernmobil nur noch aus ZRF.

[14] Die entstehenden Kosten durch die vorzeitige Abschreibung werden hier nicht weiter berücksichtigt. Ob und zu welchem Preis die nicht mehr benötigten ERF an einen anderen Betreiber abgegeben werden können, kann derzeit nicht beurteilt werden.

- Die Linie 6, zwischen Fischermätteli und Worb, verkehrt mit ZRF. Während den Verkehrsspitzen sind 12 Fahrzeuge nötig, um eine Taktfolge von 7.5 Minuten einzuhalten.
- Sämtliche Linien werden mit ZRF bedient.
- Zur Abschätzung des Fahrzeugbedarf bei einem geplanten Streckenunterbruch wird der Störungsfall «Zytglogge total» zugrunde gelegt. Dies ist für den Bedarf an GAB der kritische Fall.

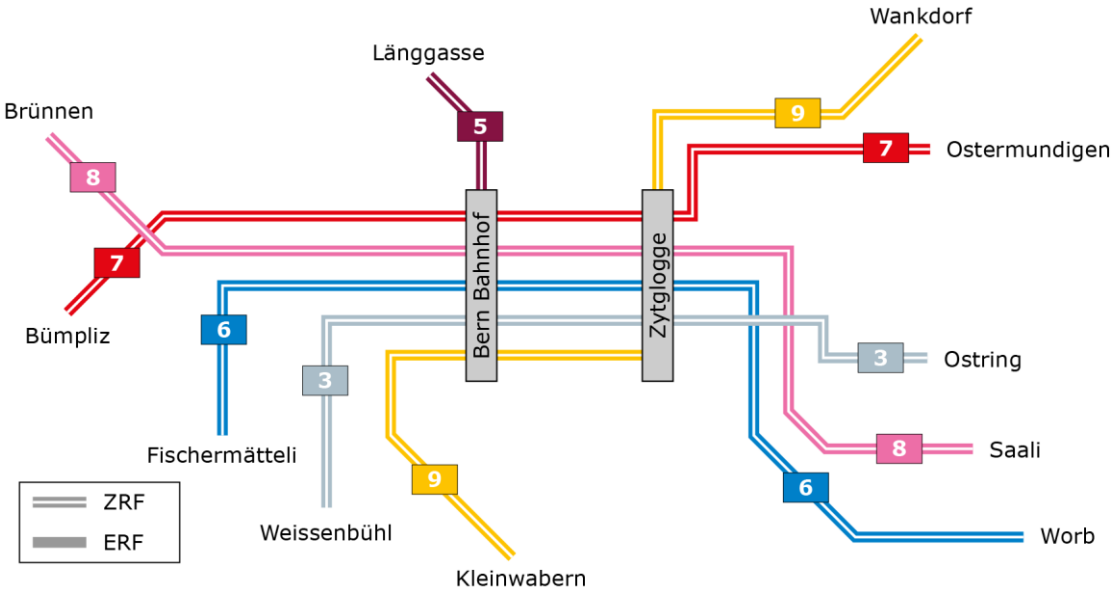


Abbildung 14: Schematischer Netzplan vollständige Umstellung auf ZRF

Typ / Serie	Beschaffungs-zeitraum	Anzahl ERF	Anzahl ZRF	Total	Bemerkung
Tramlink 1. Serie	2023-2025	0	20	20	Ersatz für Vevey- und Tram 2000 / Mehrbedarf Linie 9
Tramlink 2. Serie	ab 2027	0	11	11	Mehrbedarf für TBO
Neubeschaffung	ab 2036	0	46	46	Ersatz für 1. Serie Combino und Combino XL / Mehrbedarf Tram Länggasse
Total		0	77	77	

Tabelle 4: Fahrzeugbestand Szenario 2a

Die vollständige Umstellung auf ZRF bedingt, dass in einem relativ kurzen Zeitraum von ca. 4 Jahren 46 neue Trams zu beschaffen sind.

Infrastrukturkosten:

Bei allen Endhalten werden die vorhandenen Wendeschlaufen zurückgebaut und durch Kehranlagen ersetzt. Die erwarteten Kosten von 5.8 Mio. CHF werden aus dem Beispiel in Kap. 4.2.2 entnommen. Der freiwerdende Raum wird generell mit durchschnittlich 1'000 m^2 pro ersetzte Kehranlage angenommen.

Bei den folgenden Endhaltestellen kann mit den erwähnten Angaben gerechnet werden: Saali, Ostring, Wabern, Fischermätteli, Bümpliz, Weissenbühl und Brünnen. Diese zusammen generieren Mehrkosten von 40.6 Mio. CHF. Dabei werden 7'000 m^2 Fläche frei.

Die neu zu erstellende Kehranlage Länggasse weist gegenüber dem Bau einer Wendeschlaufe reduzierte Kosten von 0.3 Mio. CHF aus. Zusätzlich sind 1'000 m^2 weniger Fläche nötig.

Die Endhaltestelle mit Wendeschlaufe in Bern Wankdorf bleibt aufgrund ihrer Ausführung um Gebäude herum bestehen, da die engen Platzverhältnisse eine Umstellung von der Wendeschlaufe auf eine Kehranlage am gegebenen Standort erschweren und kein Gewinn von Flächen zu erwarten ist.

Es sind insgesamt Mehrkosten von 40.3 Mio. CHF zu erwarten.

Standort	Endhaltestelle	Kehranlage	Wendeschlaufe	Kosten [Mio. CHF]
Saali	X	X		5.8
Ostring	X	X		5.8
Wabern	X	X		5.8
Fischermätteli	X	X		5.8
Bümpliz	X	X		5.8
Weissenbühl	X	X		5.8
Bern Westside	X	X		5.8
Wankdorf	X		X	0
Länggasse	X	X		-0.3
Total				40.3

Neben den vier Betriebskehranlagen, die aufgrund der momentanen Beschaffung von ZRF umgesetzt werden, kommen für dieses Szenario noch fünf zusätzliche Betriebskehranlagen dazu (Schlaufe am Hirschengraben via Schwanen- und Bundesgasse kann betrieblich nicht ersetzt werden, da mit einer Kehranlage die notwendige Kapazität nicht bewältigt werden kann). Sie ersetzen die nicht mehr benötigten Betriebswendeschlaufen. Mit durchschnittlichen Kosten von 1.9 Mio. CHF pro Anlage ist insgesamt mit Kosten 17.1 Mio. CHF zu rechnen (total neun Betriebskehranlagen). Es gilt zu erwähnen, dass ein Teil der Kehranlagen bereits mit der laufenden Trambeschaffung realisiert werden muss und diese Kosten unabhängig von diesem Szenario anfallen.

Bei einem durchschnittlichen Radius von 20 m können durch den Wegfall einer Wendeschlaufe ca. 1'250 m^2 Fläche eingespart werden, sofern die neuen Kehranlagen im bestehenden Tramtrasse bzw. Strassenraum realisiert werden können. Somit können bei den 5 Anlagen insgesamt 6'250 m^2 Fläche umgenutzt werden.

Insgesamt werden bei der kompletten Umstellung ca. 14'250 m^2 Fläche frei, was bei einem Quadratmeterpreis von 2'290.- CHF etwa einem Gegenwert von 32.6 Mio. CHF entspricht.

Der Unterschied zwischen den beiden Systemen bezüglich der Unterhaltskosten von Betriebsanlagen fällt nicht ins Gewicht.

Fahrzeugkosten:

Die gesamte Flotte von 77 Fahrzeugen besteht aus ZRF. Für die Beschaffung resultieren somit zusätzliche Kosten von 38.5 Mio. CHF. Allfällige zusätzliche Kosten, aufgrund der Ausserbetriebnahme nicht komplett abgeschriebener ERF, werden hier nicht betrachtet.

Im Vergleich zum Einsatz von nur ERF sinkt die Beförderungskapazität um 6 %. Um dies über die gesamte Flotte gesehen auszugleichen, müssten 5 zusätzliche ZRF beschafft werden. Im vorliegenden Szenario wird allerdings auf diesen Ausgleich verzichtet und entsprechend keine zusätzlichen Beschaffungskosten eingerechnet.

Im Betrieb über die gesamte Lebensdauer von 30 Jahren entstehen durch den Einsatz der ZRF ca. 16 Mio.[15] CHF zusätzliche Betriebskosten.

Flexibilität im massgebenden Störfall:

Betrachtet wird der für das Berner Tramnetz massgebende Störfall, dass der Trambetrieb zwischen Hauptbahnhof und Zytglogge geplant eingestellt werden muss. Die Durchbindung sämtlicher Linien fällt weg und es werden Restbetriebe mit Trams auf dem östlichen und westlichen Teil des Netzes aufgezogen. Die vorgeschlagene Lösung für den Restbetrieb kann analog zum Szenario 1 umgesetzt werden (eine schematische Darstellung ist in Abbildung 13 ersichtlich):

- Auf der Westseite kommen ZRF zum Einsatz und halten den Trambetrieb auf dem Teilnetz bis zum Hauptbahnhof aufrecht, d.h. es wird der gleiche Ersatzbetrieb aufgezogen, wie er in Szenario 1 mit ERF möglich ist.
- Auf der Ostseite verkehren die ZRF gleich wie im Szenario 1, dazu ist die gleiche Anzahl von Trams notwendig.
- Der Busersatzbetrieb zwischen HB und Kursaal bzw. Helvetiastrasse wird mit 11 GAB gewährleistet.

Folglich hat die totale Umstellung auf ZRF keinen Einfluss auf die benötigte Busflotte, d.h. der einzige zusätzliche Vorteil, der sich aus der totalen Umstellung ergibt, ist eine höhere Agilität im Trambetrieb. So ist es denkbar, zusätzlich auch bei ungeplanten Störfällen kurzfristig Restbetriebe aufzuziehen. Weil alle Linien mit ZRF betrieben sind, ist eine vorgängige Verschiebung der benötigten Fahrzeuge auf die isolierten Teilnetze nicht mehr notwendig und Restbetriebe können ohne vorgängige Planung aufgezogen werden. Ebenso entfällt die bei kurzfristigen Störungen im Mischbetrieb zu erwartenden Blockierungen durch ERF. In einem ungeplanten Störungsfall kann zeitnah auf einen Restbetrieb umgestellt und dadurch die Strecke, welche mit Bussen überbrückt werden muss, kurzgehalten werden.

[15] 77 ZRF * 30 Jahre * 70’000 km * 0.1 CHF/km

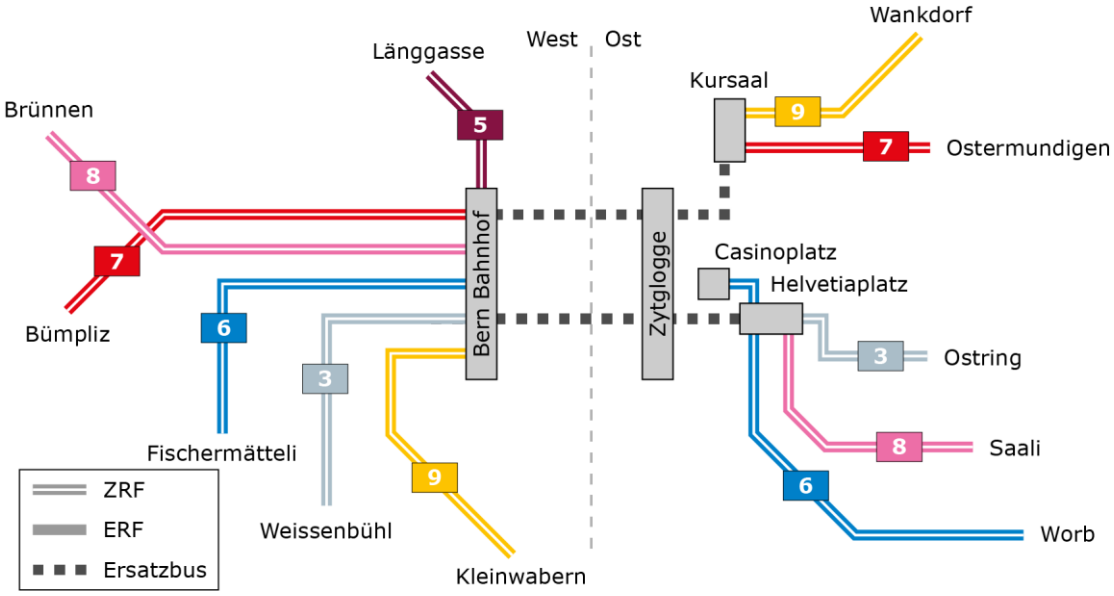


Abbildung 15: Schematischer Netzplatz Störfall Zytglogge

Zwischenfazit Szenario 2a:

Kostenseitige Auswirkungen	Gesamt	Davon bereits geplant
Mehrkosten bei Beschaffung ZRF	38.5 Mio. CHF	10 Mio. CHF
Mehrkosten Betrieb ZRF über gesamte Lebensdauer	16.2 Mio. CHF	4.2 Mio. CHF
Mehrkosten für Infrastrukturanlagen	47.9 Mio. CHF.	7.6 Mio. CHF
Monetarisierung des Flächengewinns	−32.6 Mio. CHF	
Reduktion Vorhaltekosten GAB	−2.2 Mio. CHF	
Saldo	**67.8 Mio. CHF**	

Im Vergleich zu Szenario 1 steht der erhöhten Anzahl an ZRF und den damit verbundenen Investitionen kaum ein erhöhter Nutzen gegenüber, während die Kosten um rund 46 Mio. CHF höher liegen.

Zudem reduziert sich die Beförderungskapazität durch das geringere Platzangebot der ausschliesslich eingesetzten ZRF um bis zu 6 %. Ebenso leidet die Betriebsstabilität durch die längeren Fahrgastwechselzeiten. Um dies aufzufangen, müsste die Umlaufzeit verlängert werden, wofür entweder zusätzliche Fahrzeuge benötigt würden oder das Taktintervall reduziert werden müsste. Bei einem reduzierten Taktintervall würde folglich die Gesamtkapazität nochmals reduziert.

Durch die Umgestaltung der heutigen Wendeschlaufen werden zwar rund 14'000 m^2 Flächen frei, welche theoretisch anderen Nutzungen zugeführt werden können. Da innerhalb der Wendeschlaufen teilweise öffentliche Plätze oder bereits andere Nutzungen, wie z. B. P+R oder Buswendeplätze, untergebracht sind, ist aber unwahrscheinlich, dass dieses ganze Potential ausgeschöpft werden kann. Selbst wenn aber der günstigste Fall angenommen wird, wiegt das Verkaufspotential dieser Flächen die Investitionskosten für die neuen Wendeanlagen nicht auf. Hinzu kommt, dass sich die Wendeanlagen aufgrund ihrer Länge nicht per se städtebaulich besser einordnen lassen.

5.3 Szenario 2b: Vollständige Umstellung auf Zweirichtungsfahrzeuge bei Beibehaltung bestehender Wendeschlaufen

ERF sind alle ausgemustert und durch ZRF ersetzt worden. Die vorhandenen Wendeschlaufen bleiben bestehen, da sie auch mit ZRF genutzt werden können.

5.3.1 Ausgangslage

Annahmen zum Tramnetz und zur Infrastruktur:

- Nach derzeitiger Planung kann davon ausgegangen werden, dass die Tramachse Länggasse realisiert ist.
- Für das Tram Länggasse wird angenommen, dass die Endhaltestelle als Kehranlage realisiert wird. Zusätzliche Betriebskehranlagen sind auf dieser relativ kurzen Strecke nicht vorgesehen.
- Für das restliche Berner Tramnetz wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Wendeschlaufen beibehalten werden. Folglich können keine Flächen freigespielt werden.
- Neue oder umzubauende Haltestellen werden je nach Situation mit Mittel- oder Seitenperrons ausgestattet.

Annahmen zu den Fahrzeugen und zum Betriebseinsatz sind dieselben wie in Szenario 2a (vgl. Abbildung 14).

Infrastrukturkosten:

Die neu zu erstellende Kehranlage Länggasse weist gegenüber dem Bau einer Wendeschlaufe reduzierte Kosten von 0.3 Mio. CHF aus. Zusätzlich sind 1'000 m^2 weniger Fläche nötig.

Die übrigen Wendeschlaufen bleiben unverändert bestehen, andererseits werden somit auch keine Flächen frei, welche sich anderweitig nutzen liessen.

Es gilt zu erwähnen, dass ein Teil der Kehranlagen bereits mit der laufenden Trambeschaffung realisiert werden muss und diese Kosten unabhängig von diesem Szenario anfallen.

Der Unterschied zwischen den beiden Systemen bezüglich der Unterhaltskosten von Betriebsanlagen fällt nicht ins Gewicht.

Fahrzeugkosten:

Die gesamte Flotte von 77 Fahrzeugen besteht aus ZRF. Für die Beschaffung resultieren somit analog zu Szenario 2a zusätzliche Kosten von 38.5 Mio. CHF.

Flexibilität im massgebenden Störfall:

An der Flexibilität im Störfall ergeben sich im Vergleich zu Szenario 2a keine Veränderungen (vgl. Abbildung 15).

Zwischenfazit Szenario 2b:

Kostenseitige Auswirkungen	Gesamt	Davon bereits geplant
Mehrkosten bei Beschaffung ZRF	38.5 Mio. CHF	10 Mio. CHF
Mehrkosten Betrieb ZRF über gesamte Lebensdauer	16.2 Mio. CHF	4.3 Mio. CHF
Mehrkosten für Infrastrukturanlagen	7.6 Mio. CHF.	7.6 Mio. CHF
Einsparung Endhaltestelle Länggasse durch ZRF	−2.6 Mio. CHF	
Reduktion Vorhaltekosten GAB	−2.2 Mio. CHF	
Saldo	**57.5 Mio. CHF**	

Auch wenn auf den Umbau der bestehenden Wendeschlaufen verzichtet wird, verbessert sich das Nutzen-Kosten-Verhältnis im Vergleich zu Szenario 1 nur unwesentlich. Zwar sind die Investitionskosten tiefer, jedoch entsteht auch kein Nutzen durch die anderweitige Verwendung der Flächen der Wendeschlaufen.

Bezüglich Restbetrieben bei Unterbrüchen ergeben sich wie bereits in Szenario 2a dargelegt, ab einer bestimmten Anzahl ZRF kein weiterer Nutzen, abgesehen davon, dass die Restbetriebe allenfalls bei ungeplanten Störungen ebenfalls aufgezogen werden können.

Die Einschätzung zur Beförderungskapazität und längeren Fahrgastwechselzeiten ändert sich im Vergleich zu Szenario 2a nicht, jedoch sind die Auswirkungen auf die Betriebsstabilität etwas geringer, da mit den ZRF die weiterhin vorhandenen Wendeschlaufen befahren werden und somit kein zusätzlicher Zeitbedarf für das Wenden wie bei Kehranlagen entsteht.

5.4 Beurteilung der Szenarien

Die Szenarien werden gegeneinander bewertet. Die Bewertung des Status Quo[16] dient dabei als Ansatzpunkt zur Veranschaulichung, in welche Richtung sich gewisse Kriterien entwickeln. Der Fokus liegt bei den massgebenden Sichtweisen (Fahrgäste, Betrieb, Kostenträger, Öffentlichkeit) und deren einzelnen Kriterien, welche mit ++ als sehr gut und – – als sehr schlecht beurteilt werden. Die Gesamtbewertung ist qualitativ und berücksichtigt auch die unterschiedliche Relevanz der Kriterien. Sie entspricht daher nicht einer Addition der Bewertung für die einzelnen Kriterien.

5.4.1 Sicht Fahrgäste

Fahrgäste	Szenario 1	Szenario 2a	Szenario 2b	Status Quo
Sitzplatzanteil	–	––	––	=
Beförderungskapazität Fahrzeug	–	––	––	=
Transport von Gepäck u. Kinderwagen	–	–	–	=
Orientierung an Haltestellen	=	–	–	=
Pünktlichkeit	–	––	–	=
Komfort Ein- / Aussteigen	=	–	–	=

[16] Der Status quo bezieht sich auf die aktuelle Planung: Anschaffung von 20 ZRF und Bau von vier Betriebskehranlagen.

Verfügbarkeit ÖV im Störfall	+	++	++	=
Etappenweise Inbetriebnahme neuer Strecken	+	+	+	=
Gesamtbeurteilung	**–**	**––**	**––**	**=**

Szenario 1 bewirkt aus der Sicht des Fahrgasts eine Verschlechterung im Vergleich zum heutigen Zustand. Dies beruht insb. auf der geringeren Beförderungskapazität der ZRF und der schlechteren Fahrplanstabilität, was nur teilweise durch die erhöhte Verfügbarkeit des ÖV bei geplanten Betriebsunterbrüchen kompensiert wird. Zudem ist die etappenweise Integration neuer Linien derzeit wenig relevant (Länggasse ist zu kurz für eine Etappierung). In Szenario 2 verschlechtert sich die Pünktlichkeit noch weiter und die wechselnden Halteseiten behindern den Komfort beim Ein- / Aussteigen sowie die Orientierung an den Haltestellen gegenüber dem Status quo sowie dem Szenario 1.

5.4.2 Sicht Betreiber

Betreiber	**Szenario 1**	**Szenario 2a**	**Szenario 2b**	**Status quo**
Betriebsstabilität im Regelfall	–	––	–	=
Flexibilität geplanter Störfall	+	+	+	=
Flexibilität ungeplanter Störfall	=	+	+	=
Etappenweise Inbetriebnahme neuer Strecken	+	++	++	=
Einheitliche Fahrzeugtypen	=	+	+	=
Beförderungskapazität Fahrzeug	=	–	–	=
Fahrgastwechsel	–	––	––	=
Wendezeiten	=	––	–	=
Reservehaltung Bus	+	+	+	=
Unterhaltsaufwand Fahrzeuge	–	––	––	=
Gesamtbeurteilung	**++**	**+**	**+**	**=**

Szenario 1 bewirkt Verbesserungen gegenüber dem Status quo aufgrund der höheren Flexibilität im Störungsfall und der daraus resultierenden geringeren Reservehaltung an Bussen. Zudem erlaubt es dem Betreiber neue Streckenteile etappenweise in Betrieb zu nehmen. Szenario 2a/b hat im Vergleich zu Szenario 1 eine erhöhte Unsicherheit bezüglich der Betriebsstabilität, da sich wechselnde Halteseiten in Kombination mit der geringeren Anzahl Türen bei ZRF stark auf die Fahrgastwechselzeiten auswirken und zu längeren Fahrt- und Umlaufzeiten führen können. Dank der weiterhin vorhandenen Wendeschlaufen schneidet Szenario 2b bezüglich Betriebsstabilität im Vergleich zu 2a leicht besser ab. Abschliessend kann festgehalten werden, dass Szenario 1 aus Sicht des Betriebs besser abschliesst wie Szenarien 2a/b.

5.4.3 Sicht Kostenträger

Kostenträger	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2b	Status quo
Investitionen Fahrzeuge	–	––	––	=
Unterhaltsaufwand Fahrzeuge	–	––	––	=
Erstellung Infrastruktur	+	+	+	=
Unterhalt Infrastruktur	=	=	=	=
Kosten Busersatzbetrieb	+	+	+	=
Betriebs- bzw. Abgeltungskosten	-	––	––	=
Gesamtbeurteilung	**-**	**––**	**––**	**=**

Die zusätzlichen ZRF im Szenario 1 verursachen im Vergleich zum Status quo Mehrkosten von ca. 7.1 Mio. CHF. Dem stehen Einsparungen bei beim zukünftigen Ausbau des Tramnetzes (-2.6 Mio. CHF) und die reduzierten Kosten für den Busersatzbetrieb im Störungsfall (-2.2 Mio. CHF) gegenüber. Aus Sicht Kostenträger schneidet daher der Status quo am besten ab. In Szenario 2a/b kann die massgebende Busreserve nicht weiter reduziert werden und die nochmals erhöhten Kosten der zusätzlichen ZRF stehen keinem direkten Nutzen gegenüber.

5.4.4 Sicht Öffentlichkeit

Öffentlichkeit	Szenario 1	Szenario 2a	Szenario 2b	Status quo
Reduktion Lärmemissionen	=	+	=	=
Integration in das Stadtbild	+	+	+	=
Umnutzung freiwerdender Fläche	=	+	=	=
Umsetzbarkeit Wendeanlagen	+	+	+	=
Realisierung neuer Tramachsen und Inbetriebnahme von Teilstrecken	+	++	++	=
Umsetzbarkeit BehiG	=	=	=	=
Aufwendung Steuergelder für Betrieb	–	––	––	=
Aufwendung Steuergelder für Infrastruktur	+	–	+	=
Gesamtbeurteilung	**+**	**+**	**+**	**=**

Ausser bei den erhöhten Aufwendungen von Steuergeldern für den Betrieb und der Umsetzbarkeit des BehiG zeigt sich in Szenario 2a bei allen anderen Kriterien eine Verbesserung gegenüber dem Status quo. Durch den Wegfall aller Wendeschlaufen kann der freiwerdende Raum umgenutzt werden. Es kann zusätzlich mit weniger Widerstand aus der Bevölkerung gerechnet werden, da Kehranlagen weniger Fläche beanspruchen und die Integration von Betriebskehranlagen in das Strassenbild einfacher gelöst werden kann, da nur Eingriffe in bestehende Gleisanlagen nötig sind. Ob grundsätzlich an Endhaltestellen Kehranlagen einfacher integrierbar sind als Wendeschlaufen, hängt aufgrund der Längenausdehnung der Kehranlagen stark von der jeweiligen Situation ab.

Für die freiwerdende Fläche in Szenario 2a stellt sich die Frage, ob und inwiefern der Raum sinnvoll umgenutzt werden kann. Das muss standortspezifisch beurteilt werden. Hier gilt es alle Stakeholder zu beachten und wenn möglich in den Planungsprozess miteinzubeziehen.

Aus gesamtplanerischer Sicht bewirken beide Szenarien Verbesserungen gegenüber dem Status quo, mit leichten Vorteilen beim Szenario 2a.

6 Fazit

Die Thematik Ein-/Zweirichtungstrams ist sehr vielschichtig und die Vor- und Nachteile der Fahrzeugtypen hängen neben den Eigenschaften der Fahrzeuge selbst von zahlreichen weiteren Faktoren ab, die eine eindeutige Beurteilung der Typen erschweren. Dennoch wurde in der vorliegenden Auslegeordnung das Ziel verfolgt, Einschätzungen bezüglich der Vor- und Nachteile von ZRF und ERF vorzunehmen. Mit Hilfe der drei Szenarien erfolgt dies auch im Gesamtkontext des Zusammenspiels der verschiedenen Aspekte. Folgende Erkenntnisse lassen sich daher abschliessend festhalten:

- Die Vorteile der ZRF liegen in erster Linie in deren im Vergleich zu ERF erhöhter betrieblicher Flexibilität. Das heisst, sie können unabhängig vom Typ der Infrastruktur zum Wenden auf dem gesamten Netz von Bernmobil eingesetzt werden.
- Diese erhöhte Flexibilität kann bei planbaren Unterbrüchen dazu genutzt werden, auf möglichst grossen Teilen des Tramnetzes den Restbetrieb mit Trams zu organisieren und damit die vorzuhaltende Flotte an GAB für den Ersatzbetrieb klein zu halten. Im regulären Betrieb fällt dieser Aspekt jedoch kaum ins Gewicht.
- In den Szenarien kann aufgezeigt werden, dass bei planbaren Störungen ab einer Anzahl von ca. 30 Fahrzeugen mit jedem zusätzlichen ZRF kein weiterer Nutzen zur Aufrechterhaltung des Restbetriebes bzw. Reduktion der GAB-Flotte erreicht wird, d.h. die Anzahl ZRF erreicht eine Schwelle, ab welcher diese Fahrzeuge aus betrieblicher Sicht keinen zusätzlichen Nutzen mehr generieren.
- Die einfacheren Kehranlagen für ZRF können im Vergleich zu Wendeschlaufen für ERF günstiger erstellt werden. Hauptgrund hierfür ist der geringere Flächenverbrauch der Kehranlagen. Dies fällt insbesondere bei Betriebskehranlagen ins Gewicht, da diese i.d.R. im bestehenden Tramtrasse untergebracht werden können.
- Die städtebauliche Einbettung von Kehranlagen ist einfacher zu erreichen, insbesondere dann, wenn die Anlagen im vorhandenen Strassenraum untergebracht werden. Dies gilt in erster Linie für Betriebskehranlagen, wo als Auszugsgleis das Streckengleis genutzt werden kann. Bei Kehranlagen am Linienende hängt die städtebauliche Integration stark von der jeweiligen Situation ab. Eine betrieblich flexibel nutzbare Kehranlage erreicht eine erhebliche Länge von ca. 200 Metern. Eine solche Anlage in den Raum einzufügen, kann ebenso herausfordernd sein, wie eine Wendeschlaufe unterzubringen. Zudem muss auch bei Kehranlagen eine Wendemöglichkeit für Ersatzbusse vorhanden sein.
- Die Vorteile von Kehranlagen sind für Neubauten relevant, da sie einfacher und kostengünstiger zu realisieren sind. Ebenso erlauben sie beim Bau neuer Tramachsen auch eine einfachere Etappierung. Dies legt auch ein Vergleich mit anderen Städten nahe: Zweirichtungssysteme werden vor allem dort gewählt, wo neue komplette Tramnetze aufgebaut oder lange Achsen neu erstellt werden.
- Der Ersatz von bestehenden Wendeschlaufen durch Kehranlagen, wie er in Szenario 2 durchgespielt wird, erscheint nicht sinnvoll. Zum einen wird dadurch die Wendezeit erhöht, was zu Lasten der Pufferzeit geht und folglich die Betriebsstabilität verringert, zum andern entstehen hierdurch Investitionskosten, die nur teilweise durch die anderweitige Nutzung der freiwerdenden Flächen der Wendeschlaufen kompensiert werden. Entsprechend wäre die Sinnhaftigkeit des Ersatzes bestehender Wendeschlaufen durch

Kehranlagen objektweise im Kontext zum Stadtraum und dessen Aufwertungspotential zu beurteilen.

- Hinsichtlich Fahrgastkomfort weisen die ERF klare Vorteile auf. Sie verfügen über mehr Sitzplätze und ermöglichen aufgrund zusätzlicher Türen auf nur einer Seite einen besseren Personenfluss beim Fahrgastwechsel.

Schlussfolgerungen:

- Der Nutzen von ZRF konzentriert sich auf die zusätzliche Flexibilität im Störfall im Zusammenspiel mit den günstiger zu realisierenden und mit weniger Widerstand seitens Politik und Bevölkerung behafteten Kehranlagen sowie der besseren Etappierbarkeit beim Bau neuer Tramstrecken. Im regulären Betrieb bringen sie dagegen kaum Vorteile.
- Eine vollständige Umstellung des Trambetriebes von Bernmobil auf ZRF wird als nicht sinnvoll beurteilt. Wie aus Szenario 1 bzw. dessen Vergleich mit den Szenarien 2a/b ersichtlich wird, steht den Mehrkosten bei der Anschaffung und im Betrieb der ZRF ab einer Flottengrösse von max. 30 ZRF kein Nutzen gegenüber. Dies gilt auch dann, wenn vorhandene Wendeschlaufen in Kehranlagen umgebaut werden, denn dieser Umbau bedingt zusätzliche Investitionen, welche nicht durch die freiwerdenden Flächen aufgewogen werden.
- Der derzeit eingeschlagene Weg von Bernmobil mit einer Mischflotte mit einem Anteil von 20 ZRF kann daher als richtig beurteilt werden. Bei zukünftigen Netzerweiterungen kann die Aufstockung der ZRF-Flotte sinnvoll sein, wenn zum einen das Erweiterungsprojekt einfacher realisiert werden kann, oder zum anderen Einsparungen bei den Kehranlagen die Mehrkosten der ZRF aufwiegen.

Rapp Trans AG

i.V. A. Diolaiuti

Martin Ruesch

Adriano Diolaiuti
Projektleiter

Martin Ruesch
Leiter Verkehrs- und Transportberatung

Zürich, 29. September 2020 / 2061.237 / DA, BOI, Ste, JJö, ASt

Quellenverzeichnis

Bahn + Bus Beratung AG 3B (2017) *BERNMOBIL - Trambeschaffung 2020: Einrichtungs- oder Zweirichtungsfahrzeuge - Grundlage zur Entscheidungsfindung.* Bern.

Basler Verkehrsbetriebe (2019) *Portrait*. Verfügbar unter: https://www.bvb.ch/de/unternehmen/portraet/.

Fankhauser, E. (2020) «Interview mit dem Leiter Netzentwicklung der Transport Public Genevois».

Kantke Leuppi, K. (2020) «Interview mit einer Verkehrsplanerin des Zürcher Verkehrsverbunds».

Kanton Bern, Amt für Geoinformation (2019) «Basiskarte des Kantons Bern».

Kanton Bern, Amt für Wirtschaft (2020) «Angebotsmietpreise von Mietwohnungen, Büroflächen und Verkaufsflächen; Angebotspreise von Eigentumswohnungen und Bauland».

Michlik, M. (2020) «Interview mit dem Verantwortlichen für Kommunkation und Marketing der Verkehrsbetriebe Bratislava».

Regierungsrat des Kantons Zürich (2009) *Limmattalbahn, Systementscheid*. Regierungsratsbeschluss Nr. 1966/2009. Zürich. Verfügbar unter: https://www.zh.ch/bin/zhweb/publish/regierungsratsbeschluss-unterlagen./2009/1966/RRB-2009-1966.pdf.

SMA und Partner AG (2009) *Systemevaluation Limmattalbahn*. Zürich.

Wikipedia (2020a) *Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen AG*. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Bochum-Gelsenkirchener_Stra%C3%9Fenbahnen_AG.

Wikipedia (2020b) *Strassenbahn Basel*. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Strassenbahn_Basel.

Wikipedia (2020c) *Strassenbahn Zürich*. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Strassenbahn_Z%C3%BCrich.

Wikipedia (2020d) *Tramway de Nice*. Verfügbar unter: https://fr.wikipedia.org/wiki/Tramway_de_Nice.

Anhang

Grobkostenschätzung Infrastruktur Tram (+/- 30%) Bestand

Pos.	Kategorie / Element	Kosten pro Einheit [CHF/Einheit]	Menge [Einheit]		Kosten [CHF]
1	**Tiefbauarbeiten**				**921'000.-**
1.1	Verkehrsfläche Asphalt (inkl. Fundation)	300.-	1'100	m^2	330'000.-
1.2	Verkehrsfläche Asphalt auf Strasse (inkl. Fundation)	300.-	680	m^2	204'000.-
1.3	Trottoirfläche Asphalt (inkl. Fundation)	200.-	330	m^2	66'000.-
1.4	Grünfläche / Mergelfläche (inkl. Fundation)	150.-	1'090	m^2	163'500.-
1.5	Randsteine Haltekante	500.-	45	m	22'500.-
1.6	Randsteine übrige Typen	300.-	450	m	135'000.-
2	**Gleisbau**				**2'740'000.-**
2.1	Tramgleis in befestigter Fläche inkl. Fahrleitung (eingleisig)	6'000.-	390	m	2'340'000.-
2.2	Tramgleis in Rasen inkl. Fahrleitung (eingleisig)	6'000.-	0	m	0.-
2.3	Einfachweiche Tram	200'000.-	2	Stk.	400'000.-
2.3	Gleisdurchschneidung/einfache Kreuzung	100'000.-	0	Stk.	0.-
3	**Hochbauten**				**250'000.-**
3.1	Haltestellenmöblierung Tram	250'000.-	1	Stk	250'000.-
4	**Sicherheitseinrichtungen**				**600'000.-**
4.1	LSA-Steuerung Tram (LSA Querung MIV)	300'000.-	2	Stk.	600'000.-
Zwischentotal					4'511'000.-
	Baustelleninstallation		6	%	270'660.-
Total Bauarbeiten					**4'781'660.-**
	Kleinpositionen und Verschiedenes		15	%	717'249.-
	Honorare		12	%	573'799.-
	Gebühren und Versicherungen		3	%	14'345.-
Total exkl. MWSt.					**6'087'053.-**
	Mehrwertsteuer		7.7	%	468'703.-
Total inkl. MWSt.					**6'555'756.-**

Hinweis: In dieser Kostenschätzung sind nur die Grobkosten der Traminfrastruktur aufgeführt. Die Kostenschätzung dient lediglich der Vergleichbarkeit von Varianten.

Nicht enthaltene Positionen:
· Altlastenkonzept und Entsorgungsgebühren Altlasten
· Werkleitungen
· Geotechnisches Gutachten
· Gleisentwässerung
· Provisorien und Mehraufwand Etappierung Bauarbeiten
· Spezielle, zurzeit nicht bekannte Behördenauflagen (insb. Naturschutz)
· Spezielle, zurzeit nicht bekannte Bauherren- oder Nutzerwünsche
· Vorbereitungen oder Vorleistungen für anderweitige Nutzungen
· Gebühren und Entschädigungen für Unterbrüche und Beanspruchungen

Grobkostenschätzung Infrastruktur Tram (+/- 30%) Variante 4

Pos.	Kategorie / Element	Kosten pro Einheit [CHF/Einheit]	Menge [Einheit]	Kosten [CHF]
1	**Tiefbauarbeiten**			**700'500.-**
1.1	Verkehrsfläche Asphalt (inkl. Fundation)	300.-	1'110 m^2	333'000.-
1.2	Verkehrsfläche Asphalt auf Strasse (inkl. Fundation)	300.-	280 m^2	84'000.-
1.3	Trottoirfläche Asphalt (inkl. Fundation)	200.-	480 m^2	96'000.-
1.4	Grünfläche / Mergelfläche (inkl. Fundation)	150.-	350 m^2	52'500.-
1.5	Randsteine Haltekante	500.-	90 m	45'000.-
1.6	Randsteine übrige Typen	300.-	300 m	90'000.-
2	**Gleisbau**			**3'070'000.-**
2.1	Tramgleis in befestigter Fläche inkl. Fahrleitung (eingleisig)	6'000.-	280 m	1'680'000.-
2.2	Tramgleis in Rasen inkl. Fahrleitung (eingleisig)	6'000.-	65 m	390'000.-
2.3	Einfachweiche Tram	200'000.-	5 Stk.	1'000'000.-
2.3	Gleisdurchschneidung/einfache Kreuzung	100'000.-	0 Stk.	0.-
3	**Hochbauten**			**250'000.-**
3.1	Haltestellenmöblierung Tram	250'000.-	1 Stk	250'000.-
4	**Sicherheitseinrichtungen**			**300'000.-**
4.1	LSA-Steuerung Tram (LSA Querung MIV)	300'000.-	1 Stk.	300'000.-
Zwischentotal				4'320'500.-
	Baustelleninstallation		6 %	259'230.-
Total Bauarbeiten				**4'579'730.-**
	Kleinpositionen und Verschiedenes		15 %	686'960.-
	Honorare		12 %	549'568.-
	Gebühren und Versicherungen		3 %	13'739.-
Total exkl. MWSt.				**5'829'996.-**
	Mehrwertsteuer		7.7 %	448'910.-
Total inkl. MWSt.				**6'278'906.-**

Hinweis: In dieser Kostenschätzung sind nur die Grobkosten der Traminfrastruktur aufgeführt. Die Kostenschätzung dient lediglich der Vergleichbarkeit von Varianten.

Nicht enthaltene Positionen:
· Altlastenkonzept und Entsorgungsgebühren Altlasten
· Werkleitungen
· Geotechnisches Gutachten
· Gleisentwässerung
· Provisorien und Mehraufwand Etappierung Bauarbeiten
· Spezielle, zurzeit nicht bekannte Behördenauflagen (insb. Naturschutz)
· Spezielle, zurzeit nicht bekannte Bauherren- oder Nutzerwünsche
· Vorbereitungen oder Vorleistungen für anderweitige Nutzungen
· Gebühren und Entschädigungen für Unterbrüche und Beanspruchungen