

## STADTRAT

Stadthaus  
Postfach 1000  
CH-8201 Schaffhausen  
T + 41 52 632 51 11  
F + 41 52 632 52 53  
[www.stadt-schaffhausen.ch](http://www.stadt-schaffhausen.ch)

### Stadtrat

An den  
Grossen Stadtrat  
8200 Schaffhausen

Vorlage des Stadtrates vom 2. Mai 2017

### **Strategie- und Planungskreditvorlage Traktionsarten der VBSH (Nächste Generation Trolleybus)**

Sehr geehrter Herr Präsident  
Sehr geehrte Damen und Herren

Der Stadtrat unterbreitet Ihnen eine Strategie- und Planungskreditvorlage betreffend Traktionsarten der VBSH (nächste Generation Trolleybus).



## 1. Zusammenfassung

### 1.1 Ausgangslage: Flottenerneuerung steht bevor

Die Verkehrsbetriebe Schaffhausen (VBSH) verfügen heute über sieben Trolleybusse (auf Linie 1) und 34 Dieselbusse (auf allen anderen Linien).

2009 beauftragte der Grosse Stadtrat den Stadtrat innerhalb von zehn Jahren zu prüfen, ob die Linie 3 auf Trolleybusbetrieb umgestellt werden kann, und zwar (unter Berücksichtigung der Entwicklungen auf dem Energie- und Fahrzeugmarkt).

Die Umstellung der Linie 3 auf Trolleybus wurde im Agglomerationsprogramm II aufgenommen, weshalb bei entsprechenden Infrastrukturmassnahmen eine Mitfinanzierungsmöglichkeit durch den Bund besteht.

Die aktuelle Flottenplanung sieht vor, dass der öffentliche Beschaffungsprozess für eine neue Generation Busse in den nächsten Monaten gestartet wird, damit die neuen Busse – nach Ablauf der Lebensdauer der bestehenden – rechtzeitig in Betrieb genommen werden können.

### 1.2 Evaluation Traktionsarten: Zehn Systeme im Vergleich

Die VBSH haben eine umfassende Analyse der aktuell auf dem Markt verfügbaren Traktionsarten gemacht. Untersucht wurden dabei zehn unterschiedliche Systeme.

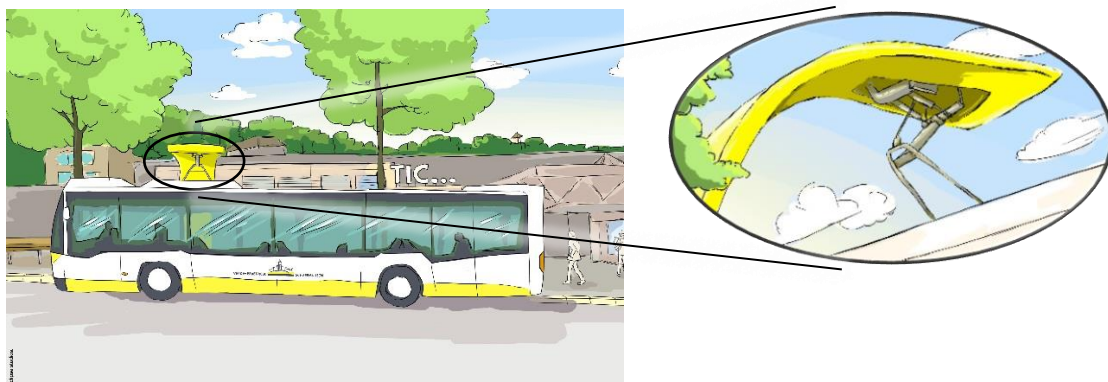
Folgende Technologien wurden untersucht und bezüglich Wirtschaftlichkeit und Ökologie bewertet:

- |                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| ❶ Dieselbus    | ❹ Rein batteriebetriebener Bus      |
| ❷ Trolleybus   | ❺ Wasserstoffbus                    |
| ❸ Hybridbus    | ❻ E-Bus mit Schnellladesystem (OCI) |
| ❹ Gas-Bus      | ❼ Trolleybus IMC                    |
| ❺ Multi-Hybrid | ❽ E-Bus mit Schnellladesystem (OCC) |

### 1.3 E-Bus mit Schnellladesystem günstig und umweltfreundlich

Im Vergleich der Traktionen mit Gewichtung der wirtschaftlichen und ökologischen Vorzüge geht der (E-Bus mit Schnellladesystem (OCC)) als Sieger hervor.

Der E-Bus mit Schnellladesystem bezieht die Energie von einer auf dem Dach installierten Batterie, welche sowohl im Depot als auch an einzelnen Haltestellen in kürzester Zeit geladen wird.



Dieser E-Bus ist umweltfreundlich, bietet den gleich hohen Fahrkomfort wie ein Trolleybus und ist trotz der notwendigen Anfangsinvestition (Ladestationen) in der Gesamtbilanz bereits nach fünf Betriebsjahren günstiger als der Dieselbus. Eine vollständige Ablösung der Dieselflotte auf dem gesamten VBSH-Netz ist bis 2027 möglich.

#### 1.4 Umrüstung des klassischen Trolley auf Trolley IMC

Für die bestehenden Trolleybusse auf der Linie 1 bietet sich die Umrüstung auf die Technologie «In Motion Charging (IMC)» an. Dabei werden die Busse mit Batterien ausgestattet, welche über die bestehenden Oberleitungen während der Fahrt geladen werden. Dies ermöglicht einen streckenweisen Abbau der Oberleitungen und senkt somit die Kosten für die Fahrleitungswartung.

#### 1.5 Beschaffungsstrategie und weiteres Vorgehen

Mit der vorliegenden Strategievorlage wird dem Grossen Stadtrat ein Grundsatzentscheid zur Umstellung auf E-Busse mit Schnellladesystem und ein entsprechender Planungskredit über 630'000 Franken beantragt.

Bestätigt das Stadtparlament die Strategie, so wird im nächsten Schritt das Submissionsverfahren gestartet. Der Zuschlag erfolgt unter Vorbehalt der Genehmigung der Investitionskreditvorlage durch Parlament und Volk. Um die Risiken bei der Einführung dieser zwar andernorts erprobten, aber dennoch noch relativ neuen Technologie zu reduzieren, muss der Anbieter einen Pilotbetrieb unter realen Umständen (im Sinne eines «Testbetriebs») bestehen. Der Pilotbetrieb auf dem VBSH-Netz und die Volksabstimmung sind im 2018 geplant.

Als Rückfallposition (und für die Beschaffung der RVSH) wird parallel der Beschaffungsprozess für Dieselbusse mit einer sogenannten Backupbeschaffung durchgeführt.

#### 1.6 Voraussichtliche Investitionskosten und weitere Ausbaustufen

Aktuell ist die Beschaffung von zehn E-Bussen, elf Ladestationen am Bahnhof Schaffhausen, die Umrüstung der Trolleybusse sowie die notwendige Erweiterung des Busdepots im Ebnet vorgesehen. Die Netto-Investitionen werden auf rund 19 Mio. Franken geschätzt. Eine reine Dieselbus-Beschaffung in der gleichen Grössenordnung würde inklusive aller nötigen Infrastrukturkosten auf rund 15 Mio. Franken zu liegen kommen.

Die zehn neuen Busse sollen nach aktueller Planung primär auf der Linie 3 eingesetzt werden und zudem die Linien 4 und 5 ergänzen. Da sich die Ladestationen am Knotenpunkt Bahnhof befinden, ist ein weiterer Ausbau ohne grosse Infrastrukturkosten möglich.

#### 1.7 Würdigung

Die E-Busse weisen gegenüber den gängigen Dieselnissen und den Trolleybussen deutliche Vorteile auf. Sie überzeugen durch ihre ausgezeichnete Umweltfreundlichkeit, die gute Wirtschaftlichkeit, den hohen Fahrkomfort und den Verzicht auf Fahrleitungen.

Mit der innovativen Traktionsstrategie festigen die VBSH und die Stadt Schaffhausen ihre ökologische und innovative Vorreiterposition.

## Inhalt

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
1.1 Ausgangslage: Flottenerneuerung steht bevor	2
1.2 Evaluation Traktionsarten: Zehn Systeme im Vergleich	2
1.3 E-Bus mit Schnellladesystem günstig und umweltfreundlich	2
1.4 Umrüstung des klassischen Trolley auf Trolley IMC	3
1.5 Beschaffungsstrategie und weiteres Vorgehen	3
1.6 Voraussichtliche Investitionskosten und weitere Ausbaustufen	3
1.7 Würdigung	3
<b>2. Ausgangslage</b>	<b>5</b>
2.1 Geschichte Traktionsarten	5
2.2 Fahrzeugbedarf	5
2.3 Traktionen (Antriebe) heute	5
2.4 Aktuelle Flottenplanung	6
2.4.1 Lebensdauer und Erneuerungszyklen	6
2.5 Politischer Auftrag	7
2.6 Umwelt- und energiepolitische Vorgaben	7
2.7 Mitfinanzierungsmöglichkeit durch Agglomerationsprogramm	7
<b>3. Evaluation Traktionsarten</b>	<b>8</b>
3.1 Grundlagen und Kriterien für den Vergleich	8
3.2 Gegenüberstellung der Traktionen	9
3.2.1 Gegenüberstellung der Investitionskosten	19
3.2.2 Gegenüberstellung der Betriebskosten	20
3.2.3 Gegenüberstellung betreffend CO <sub>2</sub> -Ausstoss	22
3.2.4 Gesamtbewertung	23
3.3 Prüfung Umstellung Trolley auf IMC	24
3.3.1 Gegenüberstellung der Investitionskosten	25
3.3.2 Gegenüberstellung der Betriebskosten	26
3.3.3 Gesamtbewertung	26
<b>4. Strategie Traktionsarten</b>	<b>27</b>
4.1 Umstellung auf E-Busse mit Schnellladesystem (OCC)	27
4.2 Umrüstung Trolleybusse der Linie 1 auf IMC	28
4.3 Backupbeschaffung	28
<b>5. Weiteres Vorgehen und Umsetzungskonzept</b>	<b>29</b>
5.1 Übersicht Projektplanung	29
5.2 Detailinformationen zum Vorgehen und zur geplanten Umsetzung	31
5.3 Umsetzungsarbeiten	32
5.3.1 Erweiterung Depot Ebnat	32
5.3.2 Ladestationen am Bahnhof	33
5.3.3 Umstellung der Linie 3 und Ergänzung der Linien 4 und 5 auf E-Busse mit Schnellladesystem OCC	35
5.3.4 Umrüstung der Trolleybusse auf IMC	36
5.3.5 Abschlussarbeiten / Rückbau	36
<b>6. Finanzielle Aspekte</b>	<b>36</b>
6.1 Voraussichtliche Investitionskosten	36
6.2 Voraussichtliche Betriebskosten	37
6.3 Voraussichtliche Auswirkungen auf die Abgeltungen	37
6.4 Planungskosten	37
<b>7. Verfahren und Zuständigkeiten</b>	<b>38</b>
7.1 Vorbesprechung in Verwaltungskommission	38
7.2 Haltung Gemeinderat Neuhausen am Rheinfall	38
7.3 Zuständigkeit Bewilligung Kredite	38
7.4 Gültigkeit der Kreditbewilligung auch bei Rechtsformänderung	39
<b>8. Würdigung</b>	<b>39</b>
<b>Anträge</b>	<b>42</b>

## 2. Ausgangslage

### 2.1 Geschichte Traktionsarten

Die Verkehrsbetriebe Schaffhausen wurden 1901 als reiner Trambetrieb, mit einer Linie von Schaffhausen nach Neuhausen am Rheinfall gegründet. Ab 1928 ergänzten Busse den Trambetrieb und erschliessen seither auf verschiedenen Routen das Stadtgebiet. Nach mehreren Ausbauschritten sind die Buslinien seit 1992 als sogenannte Durchmesserlinien via Bahnhof mit einem jeweiligen Gegenast verknüpft.

Während der Verbrennungsmotor ab 1928 auf dem Schaffhauser Busnetz eingesetzt wurde, bildet der Elektro-Antrieb seit Anbeginn eine wichtige Stütze der Verkehrsbetriebe. Während der Trambetrieb von 1901 bis 1966 noch auf Oberleitungen und Schienen angewiesen war, wurden mit der Einführung der Trolleybusse die Schienen plötzlich überflüssig. Knapp 50 Jahre später steht die Elektro-Mobilität für den öffentlichen Verkehr wiederum an einer wegweisenden Schwelle – nämlich dort, wo der Trolleybus auch keine Oberleitungen mehr benötigt.

### 2.2 Fahrzeugbedarf

Für den Betrieb der derzeit sechs Buslinien der VBSH wird die folgende Anzahl Busse benötigt:

**Tabelle 1: Herleitung des Fahrzeugbedarfs, Stand Fahrplan 2017  
(GTB = Gelenktrolleybus, GAB = Gelenkautobus, AB = Autobus)**

Buslinie	Hauptverkehrszeit 10'-Takt		
	GTB	GAB	AB
1: Waldfriedhof – Herbstacker	6		
3: Krummacker – Sommerwies		6	
4: Gruben – Birch		4	
5: Herblingen – Buchthalen			5
6: Ebnat – Neuhausen SBB			9
8 / 22*: Bhf – Im Freien / Hemmental – Bhf			2
<b>Gesamt</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>16</b>
Reserve	1	3	5
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>21</b>

\*30'-Takt

Zur rein rechnerisch notwendigen Anzahl Fahrzeuge pro Antriebsart respektive Gefässgrösse (18-Meter-Gelenktrolley/-autobus oder 12-Meter-Autobus) muss eine entsprechende Reserve dazu gerechnet werden. Der Wagenpark der VBSH umfasst derzeit exakt 41 Fahrzeuge: 7 Gelenktrolleybusse, 13 Gelenkautobusse sowie 21 Autobusse.

### 2.3 Traktionen (Antriebe) heute

Aktuell verfügen die Verkehrsbetriebe Schaffhausen über zwei Antriebsarten, sogenannte Traktionsarten ihrer Busflotte. Einerseits ist dies der Elektroantrieb, der bei den Trolleybussen auf der Linie 1 zur Anwendung kommt. Andererseits ist dies der Dieselmotor, welcher in allen übrigen Bussen verwendet wird.

Die elektrobetriebenen Trolleybusse fahren direkt unter Strom, d.h. die Elektrizität wird nicht zwischengespeichert sondern direkt zum Elektromotor geführt. Im Bedarfsfall können Notfahrten mit einem dieselektrischen Notstromaggregat ausgeführt werden.

Die Trolleybusse sind durch die leise und ruckelfreie Fahrt bei Fahrern wie auch Fahrgästen beliebt. Auch verhilft die optimale Kraftübertragung beim Elektroantrieb zu einer vorteilhaften Beschleunigung in hügeliger Topografie, wie sie in Schaffhausen anzutreffen ist. Der Trolleybus ist durch seine Nutzung der Elektrizität sehr umweltfreundlich und belastet die Luft in den Innenstädten nicht zusätzlich. Der Betrieb der Trolleybusse ist vor allem wegen des aufwändigen Unterhaltes der Fahrleitungen vergleichsweise teuer und auch die Linien-Flexibilität wird durch die Fahrleitung enorm eingeschränkt. Das Schaffhauser Trolleybusnetz besteht schon seit 50 Jahren und ist mit knapp acht Kilometern Linienlänge und sieben Fahrzeugen das kleinste der Schweiz. Rein aus betrieblichen Gründen wäre eine Konzentration auf eine Traktionsart wünschenswert.

## 2.4 Aktuelle Flottenplanung

Mit der Auslieferung der restlichen sechs Gelenkautobusse im Sommer 2017 wird die Busbeschaffung 2013 geschlossen. Damit ist aktuell keine gültige öffentliche Beschaffung mehr vorhanden. Dies bedeutet, dass jedes einzelne Fahrzeug oder jede Fahrzeug-Tranche via Stadtrat, Grossen Stadtrat und allenfalls Volksabstimmung bewilligt werden müsste. Die bereits schon langen Bestellfristen würden durch den jeweils zu beschreitenden politischen Prozess nochmals verlängert.

Aus diesen Gründen ist unabhängig von der Traktionsfrage zur Sicherstellung des laufenden Betriebs eine sogenannte Backupbeschaffung sicherzustellen. Dies bedeutet, dass zwei Busbeschaffungen vorbereitet werden müssen: Eine für die Backupbeschaffung und eine für die neue Traktion.

### 2.4.1 Lebensdauer und Erneuerungszyklen

Die Lebensdauer der 2011 beschafften Trolleybusse (Gelenktrolleybus Swisstrolley 3) liegt bei 16 Jahren. Also müssten diese sieben Fahrzeuge im Jahr 2027 ersetzt werden. Die dazugehörige Fahrleitung muss bis zum letzten Betriebstag unterhalten werden und generiert jährlich wiederkehrende Kosten von mindestens 380'000 Franken.

Die Lebensdauer der zwischen 2003 und 2017 beschafften Diesel-Autobusse und Diesel-Gelenkautobusse liegt bei 14 Jahren oder 1 Million Kilometer. Die Fahrzeuge werden in der Regel ersetzt, wenn einer dieser Eckwerte erreicht wird. Bei einer fortlaufenden Planung und einem aktuellen Bestand von 34 Fahrzeugen (siehe Kapitel 2.2) würde dies einem jährlichen Ersatz von zwei bis drei Fahrzeugen entsprechen.

Normalerweise werden aber nicht jährlich neue Busse in Betrieb genommen, sondern in grösseren Tranchen alle zwei bis vier Jahre. Dies verhindert, dass allzu viele unterschiedliche Bustypen eingesetzt werden. Weniger unterschiedliche Bustypen bedeuten weniger unterschiedliche Ersatzteile und eine Konzentration des Knowhows beim Servicepersonal. Eine theoretische Flottenplanung dazu ist in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Theoretischer Fahrzeugbedarf der VBSH bei laufender Flottenplanung**

Fahrzeuge	Anzahl	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Trolley	7											7				
7700 Volvo Solo Bus	8			8												
7700 Volvo Gelenk Bus	1				1											
7700A Volvo Solo Bus	1								1							
Citaro II Mercedes Gelenk Bus	12														2	10
Citaro II Mercedes Solo Bus	14											2	3	5	2	2
Bedarf pro Jahr		0	0	8	1	0	0	0	1	0	0	9	3	5	4	12

Da eine gemeinsame Busbeschaffung mit den RVSH angestrebt wird, kann sich die Losgrösse erhöhen.

## 2.5 Politischer Auftrag

2009 beauftragte der Grosse Stadtrat den Stadtrat *«dem Grossen Stadtrat innerhalb von zehn Jahren Bericht und Antrag betreffend Umstellung der Gelenkbuslinie 3, Sommerwies – Krummacker, auf Trolleybusbetrieb unter Berücksichtigung der Entwicklungen auf dem Energie- und Fahrzeugmarkt (Alternative: Diesel-Hybridbusse) zu stellen»*. Die entsprechende Investition wurde auch im Agglomerationsprogramm II angemeldet und entsprechend sind Fördergelder des Bundes zu erwarten.

Da sich seit Einreichen der Anfrage an den Stadtrat der Markt für Personenbusse insbesondere im Bereich der alternativen Antriebsarten stark entwickelt hat, wäre es wenig sinnvoll nur den Trolleybus oder den Diesel-Hybridbus in die Beantwortung einzubeziehen. Aus diesem Grund wurde der Fächer geöffnet und die Marktsituation umfassend analysiert. Eine Übersicht über die derzeit verfügbaren Technologien ist im nachfolgenden Kapitel 3 zusammengefasst.

## 2.6 Umwelt- und energiepolitische Vorgaben

Alle geplanten Schritte im öffentlichen Verkehr haben zum Ziel, eine nachhaltige Mobilität auf der Basis einer mit der Siedlungsentwicklung abgestimmten Gesamtverkehrsplanung und unter Einbezug von umwelt- und energiepolitischen Zielen und Programmen (Luftreinhaltung, Lärmschutz, CO<sub>2</sub>-Gesetz und Energie Schweiz) sicherzustellen. Die Stadt Schaffhausen verfügt über das Energiestadt-Label und hat in Umweltfragen stets eine Vorreiterrolle eingenommen.

## 2.7 Mitfinanzierungsmöglichkeit durch Agglomerationsprogramm

Der Ausbau des Trolleybus-Netzes wurde im Agglomerationsprogramm der 2. Generation bei der Liste mit Priorität als Massnahme Nr. 11 mit Investitionskosten von 13 Millionen Franken angemeldet. Wird dieses Projekt innert Frist angemeldet, so kann mit einem Mitfinanzierungsbeitrag vom Bund (40 Prozent bis zum angemeldeten Maximalbetrag) gerechnet werden. Der Kanton leistet beim Agglomerationsprogramm der

2. Generation im Gegensatz zu jenem der 1. Generation keinen Beitrag mehr.

Bezüglich Frist heisst es in der 2015 unterzeichneten Leistungsvereinbarung zwischen dem UVEK und dem Kanton Schaffhausen, dass der Baubeginn *«grundsätzlich innert vier Jahren ab Unterzeichnung der Leistungsvereinbarung erfolgen muss»*, wobei eine Staffelung möglich ist. Bei der konkreten Ausgestaltung der Projekte im Agglomerationsprogramm ist der Bund relativ flexibel, wichtig ist die Erreichung der erwünschten Wirkung.

### 3. Evaluation Traktionsarten

Basierend auf der in Kapitel 2 geschilderten Ausgangslage, insbesondere basierend auf der Tatsache, dass derzeit keine gültige öffentliche Beschaffung vorhanden ist, wurde eine breite Analyse des derzeitigen Busmarktes insbesondere der angebotenen Traktionen durchgeführt.

#### 3.1 Grundlagen und Kriterien für den Vergleich

Wie unter Kapitel 2.4 beschrieben, sollen zwei Beschaffungen vorbereitet werden: eine optionale für Dieselbusse, die sogenannte Backupbeschaffung, und eine für eine neue Traktionsart. Aus diesem Grund ist als erste Traktionsart der Dieselbus in die Analyse eingeflossen; er dient aber auch immer als Referenz zum Vergleich betreffend Umweltbilanz zu den alternativen Traktionsarten sowie beim Preis.

Jede Traktionsart wird nachfolgend kurz vorgestellt und anhand einer Tabelle mit ihren Vor- und Nachteilen bewertet. Weiter sind folgende Kriterien zur Vergleichbarkeit ebenfalls aufgelistet:

- **Ökologie:** Betrachtet wurde insbesondere der CO<sub>2</sub>-Ausstoss, welcher in Gramm pro 1.5 Personen und pro Kilometer gemessen wird. Zum Vergleich: Der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Ausstoss eines Personewagens darf gemäss dem seit 2015 gültigen CO<sub>2</sub>-Gesetz für einen neu in Verkehr gesetzten Personewagen 130 Gramm pro Kilometer nicht überschreiten. Geht man davon aus, dass ein Personewagen mit durchschnittlich 1.5 Personen besetzt ist, erlangt man aktuell 145g/1.5p/km als Referenzwert für den CO<sub>2</sub>-Ausstoss. Es wurde mit 80% Prozent Wasserkraft aus dem Rhein gerechnet und mit 20% Schweizer Strom Mix, welcher einen geringen Anteil an fossilen Energieformen beinhaltet.
- **Ökonomie:** Für jeden Bustyp wurden zwei Lebenszyklen berechnet. Die so ermittelten Investitionen und Betriebskosten wurden mit den realen Zahlen 2015 der Linien 3, 1, 4 und 5 verglichen. Ein Lebenszyklus eines Dieselbusses beträgt 14 Jahre oder 1 Million Kilometer – je nachdem, was zuerst erreicht wird. Beim Trolleybus beträgt der Lebenszyklus 16 Jahre. Die ökonomische Betrachtung erfolgt zum Vergleich nach zwei Zyklen im Jahr 2040. Bei allen Busstypen wurde eine Depot-Erweiterung, die Umrüstung der Trolleybusse auf IMC, und die Backupbeschaffung für Dieselbusse miteingerechnet.

Der Vergleich der Traktionsarten in Kap. 3.2 geht einheitlich über alle Traktionsarten von folgenden Rahmenbedingungen aus:



- Komplette Abdeckung der Linien 3 und 4 (sowie Unterstützung der Linie 5) mit 10 Fahrzeugen
- Depot-Erweiterung für die entsprechende Traktion
- Zusätzlich benötigte Infrastruktur der jeweiligen Traktionsarten

In Kap. 3.3 wird die Umstellung vom klassischen Trolley auf den Trolley IMC für alle sieben Busse der Linie 1 geprüft.

### 3.2 Gegenüberstellung der Traktionen

Für die Umstellung der Linie 3 (und ggf. weiterer Linien) wurden Busse von insgesamt zehn unterschiedlichen Traktionsarten untersucht. Diese sind nachfolgend detailliert beschrieben.

#### ❶ Dieselbus (aktuell in Flotte)

Der Dieselbus ist ein 18 Meter langer Gelenkbus mit einer Kapazität von 125 Personen. Meistens wird bei der Gelenkbus-Variante ein 6-Zylinder-Dieselmotor eingebaut, welcher mit Abgasrückführung und CRT-Abgassystem (Dieselrusspartikelfilter) ausgestattet ist. Der Motor leistet je nach Hersteller und Version gegen 360 PS.

Fahrzeugpreis: ca. 550'000 Franken.

**Tabelle 3: Übersicht Dieselbus**

Vorteile	Nachteile																																
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bereits vorhandene Betriebsprozesse (z.B. Wartung)</li> <li>+ Langjährige Erfahrung</li> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Tanken einmal pro Tag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Dieselposten</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>- Laute Motorengeräusche</li> <li>- Veraltete Technologie</li> </ul>																																
Ökologie	Ökonomie																																
CO <sub>2</sub> -Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum PKW <sup>1</sup> ) <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Traktion</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PKW</td> <td>145</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Traktion	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	PKW	145	Dieselbus	75	Kumulierte Kosten <sup>2</sup> in Mio. Franken (Diesel = Vergleichsbasis) <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Kumulierte Kosten (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td></tr> <tr><td>2021</td><td>60</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80</td></tr> <tr><td>2025</td><td>100</td></tr> <tr><td>2027</td><td>120</td></tr> <tr><td>2029</td><td>140</td></tr> <tr><td>2031</td><td>160</td></tr> <tr><td>2033</td><td>180</td></tr> <tr><td>2035</td><td>200</td></tr> <tr><td>2037</td><td>220</td></tr> <tr><td>2039</td><td>280</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Kumulierte Kosten (Mio. Franken)	2017	20	2019	40	2021	60	2023	80	2025	100	2027	120	2029	140	2031	160	2033	180	2035	200	2037	220	2039	280
Traktion	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																
PKW	145																																
Dieselbus	75																																
Jahr	Kumulierte Kosten (Mio. Franken)																																
2017	20																																
2019	40																																
2021	60																																
2023	80																																
2025	100																																
2027	120																																
2029	140																																
2031	160																																
2033	180																																
2035	200																																
2037	220																																
2039	280																																

<sup>1</sup> Für die Berechnung wurden 1.5 Personen pro PKW angenommen.

<sup>2</sup> Massgeblich für die eingerechneten kumulierten Kosten sind jene für die Beschaffung den Unterhalt und die Energiekosten. Kosten, welche bei allen Traktionen identisch sind (z.B. Personal), wurden nicht berücksichtigt. Der Kostenvergleich dient der Vergleichbarkeit.

Die Dieselbus-Backupbeschaffung soll zusammen mit den RVSH durchgeführt werden. Die Beschaffung stellt sich wie folgt dar: Für die VBSH werden keine Busse bestellt, jedoch besteht die Möglichkeit mit dieser Beschaffung jederzeit Busse bestellen zu können. Für die RVSH werden 2018 drei Busse benötigt, welche nach Abschluss der Beschaffung direkt bestellt werden.

Um einen objektiven Vergleich sicherzustellen, wurde eine neue Tankstelle im Depot eingerechnet (üblicher Erneuerungszyklus: 15 Jahre).

② Trolleybus mit genereller Oberleitungsnutzung (aktuell in Flotte)

Der Gelenktrolleybus ist auf die Oberleitungsrouten angewiesen. Die Kapazität beträgt 145 Personen und das Gesamtgewicht beläuft sich auf 31 Tonnen. Der 19 Meter lange Gelenktrolleybus ist ausgestattet mit zwei Gleichstrommotoren, welche zusammen 240 PS leisten. Damit kann er auch im Winter steile Auffahrten problemlos meistern.

Fahrzeugpreis: ca. 1'100'000 bis 1'200'000 Franken.

**Tabelle 4: Übersicht Trolleybus**

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Überprüfung Tank einmal pro Tag</li> <li>+ Zwei angetriebene Achsen</li> <li>+ Grosse Kapazität</li> <li>+ Rein elektrischer Bus</li> <li>+ Schweizer Hersteller verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sehr hohe Baukosten der Oberleitungen</li> <li>– Sehr hohe Betriebskosten</li> <li>– Kann nur in Reichweite der Oberleitungen eingesetzt werden</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Busart</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trolleybus</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Busart	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	Trolleybus	12	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Trolleybus</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Trolleybus (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>30</td><td>40</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td><td>55</td></tr> <tr><td>2021</td><td>50</td><td>70</td></tr> <tr><td>2023</td><td>60</td><td>85</td></tr> <tr><td>2025</td><td>70</td><td>100</td></tr> <tr><td>2027</td><td>80</td><td>115</td></tr> <tr><td>2029</td><td>90</td><td>130</td></tr> <tr><td>2031</td><td>100</td><td>145</td></tr> <tr><td>2033</td><td>110</td><td>160</td></tr> <tr><td>2035</td><td>120</td><td>175</td></tr> <tr><td>2037</td><td>130</td><td>190</td></tr> <tr><td>2039</td><td>140</td><td>205</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Trolleybus (Mio. Franken)	2017	30	40	2019	40	55	2021	50	70	2023	60	85	2025	70	100	2027	80	115	2029	90	130	2031	100	145	2033	110	160	2035	120	175	2037	130	190	2039	140	205
Busart	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Trolleybus	12																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Trolleybus (Mio. Franken)																																												
2017	30	40																																												
2019	40	55																																												
2021	50	70																																												
2023	60	85																																												
2025	70	100																																												
2027	80	115																																												
2029	90	130																																												
2031	100	145																																												
2033	110	160																																												
2035	120	175																																												
2037	130	190																																												
2039	140	205																																												

### ③ Hybridbus (Kombination Diesel mit Elektro)

Der Hybridgelenkbus ist mit einem Dieselmotor in Kombination mit einem Elektromotor oder zwei Elektro-Nabenmotoren ausgestattet (je nach Hersteller). Der Dieselmotor versorgt den Elektromotor oder die Elektro-Nabenmotoren mit Strom. Unter 20 km/h kann der Hybridbus auch rein elektrisch fahren. Diesen Vorteil nutzt er in der Stadt. Der Bus hat eine Länge von 18 Metern und eine Kapazität 110 Personen bei einem Gewicht von 19 Tonnen.

Fahrzeugpreis: ca. 440'000 Franken.

**Tabelle 5: Übersicht Hybridbus**

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Einmal am Tag tanken</li> <li>+ Kann auch mit Batterie fahren (Stadtverkehr)</li> <li>+ Rekuperation (Energierückgewinnung) möglich</li> <li>+ Reduktion des Kraftstoffverbrauchs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dieselposten</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>- Mit Batterie nur 20 km/h</li> <li>- Benötigt Ladestation im Depot</li> <li>- Wartung von zwei Systemen (Diesel- und Elektromotoren)</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wieder-beschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Bus-Typ</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hybridbus</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	Hybridbus	70	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Hybridbus</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Hybridbus (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2017</td> <td>20</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>40</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>2021</td> <td>60</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>2023</td> <td>80</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>2025</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2027</td> <td>120</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>2029</td> <td>140</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>2031</td> <td>160</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td>2033</td> <td>180</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>2035</td> <td>200</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>2037</td> <td>220</td> <td>260</td> </tr> <tr> <td>2039</td> <td>240</td> <td>290</td> </tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Hybridbus (Mio. Franken)	2017	20	20	2019	40	40	2021	60	60	2023	80	80	2025	100	100	2027	120	120	2029	140	140	2031	160	170	2033	180	200	2035	200	230	2037	220	260	2039	240	290
Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Hybridbus	70																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Hybridbus (Mio. Franken)																																												
2017	20	20																																												
2019	40	40																																												
2021	60	60																																												
2023	80	80																																												
2025	100	100																																												
2027	120	120																																												
2029	140	140																																												
2031	160	170																																												
2033	180	200																																												
2035	200	230																																												
2037	220	260																																												
2039	240	290																																												

#### 4 Gas-Bus

Dieser Gelenkbus hat einen Motor, der ausschliesslich mit Gas betrieben wird. Die notwendigen Gasflaschen sind auf dem Dach des Busses untergebracht. Die Gasflaschen werden dazu einmal täglich aufgefüllt. Pro Tankfüllung kann der Bus bis zu 550 Kilometer weit fahren. Der 18 Meter lange Gas-Gelenkbus kann maximal 110 Personen aufnehmen und wiegt rund 20 Tonnen.

Fahrzeugpreis: ca. 500'000 Franken.

**Tabelle 6: Übersicht Gas-Bus**

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Einmal am Tag tanken</li> <li>+ Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25% im Vergleich zum Dieselbus</li> <li>+ Mittlere Infrastrukturkosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hohe Gaskosten</li> <li>– Grosse Gefahr bei einem Unfall</li> <li>– Laute Motorengeräusche</li> <li>– Betankungsvorgang mit 12 Minuten sehr lang</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Bus-Typ</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gas-Bus</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	Gas-Bus	45	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Gas-Bus</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Gas-Bus (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td><td>35</td></tr> <tr><td>2021</td><td>60</td><td>50</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80</td><td>65</td></tr> <tr><td>2025</td><td>100</td><td>80</td></tr> <tr><td>2027</td><td>120</td><td>95</td></tr> <tr><td>2029</td><td>140</td><td>110</td></tr> <tr><td>2031</td><td>160</td><td>125</td></tr> <tr><td>2033</td><td>180</td><td>140</td></tr> <tr><td>2035</td><td>200</td><td>155</td></tr> <tr><td>2037</td><td>220</td><td>170</td></tr> <tr><td>2039</td><td>240</td><td>185</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Gas-Bus (Mio. Franken)	2017	20	20	2019	40	35	2021	60	50	2023	80	65	2025	100	80	2027	120	95	2029	140	110	2031	160	125	2033	180	140	2035	200	155	2037	220	170	2039	240	185
Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Gas-Bus	45																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Gas-Bus (Mio. Franken)																																												
2017	20	20																																												
2019	40	35																																												
2021	60	50																																												
2023	80	65																																												
2025	100	80																																												
2027	120	95																																												
2029	140	110																																												
2031	160	125																																												
2033	180	140																																												
2035	200	155																																												
2037	220	170																																												
2039	240	185																																												

5 Brennstoffzellen-Bus (Wasserstoff)

Brennstoffzellen liefern kontinuierlich elektrische Energie, die in einer Batterie gespeichert wird. Der elektrische Antriebsmotor bezieht seine Energie aus der Batterie. Auch im Ruhezustand des Busses wird die Busbatterie durch die Brennstoffzellen weitergeladen. Nach diesem Prinzip funktioniert der Brennstoffzellenbus. Er ist ausgestattet mit einem Wasserstofftank, der alle zwei Tage mit Wasserstoff an einer Wasserstoffbetankungsanlage aufgefüllt werden muss, wobei die Reichweite des Tankes bei 250 bis 270 Kilometer liegt. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss des Brennstoffzellenbusses liegt mit 18 g/1.5p/km so tief wie bei einem E-Bus mit Schnellladesystem oder einem Trolleybus mit Traktionsbatterie. Zudem kann er beim Bremsen rekuperieren (Energierückgewinnung) und diese Energie in der Batterie speichern. Der 18 Tonnen schwere Bus kann 110 Personen aufnehmen.

Fahrzeugpreis: ca. 600'000 Franken.

Tabelle 7: Übersicht Brennstoffzellen-Bus

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Muss nur jeden zweiten Tag betankt werden</li> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Möglichkeit der Selbstproduktion der benötigten Antriebsenergie (Wasserstoff)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Stromkosten</li> <li>- Umgang mit dem gefährlichen Element Wasserstoff</li> <li>- Anhebung des Sicherheitslevels notwendig</li> <li>- Hohe Infrastrukturkosten (z.B. Bau Tankstelle)</li> <li>- Grosse Gefahr bei einem Unfall</li> <li>- Viele Sicherheitskontrollen durch externe Firmen</li> <li>- Technologie noch nicht marktreif</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Bus-Typ</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H<sub>2</sub>-Bus</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	H <sub>2</sub> -Bus	18	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Brennstoffzellen-Bus</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Brennstoffzellen-Bus (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td><td>30</td></tr> <tr><td>2021</td><td>60</td><td>40</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80</td><td>50</td></tr> <tr><td>2025</td><td>100</td><td>60</td></tr> <tr><td>2027</td><td>120</td><td>70</td></tr> <tr><td>2029</td><td>140</td><td>80</td></tr> <tr><td>2031</td><td>160</td><td>90</td></tr> <tr><td>2033</td><td>180</td><td>100</td></tr> <tr><td>2035</td><td>200</td><td>110</td></tr> <tr><td>2037</td><td>220</td><td>120</td></tr> <tr><td>2039</td><td>240</td><td>130</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Brennstoffzellen-Bus (Mio. Franken)	2017	20	20	2019	40	30	2021	60	40	2023	80	50	2025	100	60	2027	120	70	2029	140	80	2031	160	90	2033	180	100	2035	200	110	2037	220	120	2039	240	130
Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
H <sub>2</sub> -Bus	18																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Brennstoffzellen-Bus (Mio. Franken)																																												
2017	20	20																																												
2019	40	30																																												
2021	60	40																																												
2023	80	50																																												
2025	100	60																																												
2027	120	70																																												
2029	140	80																																												
2031	160	90																																												
2033	180	100																																												
2035	200	110																																												
2037	220	120																																												
2039	240	130																																												

⑥ Rein batteriebetriebener Bus

Der rein batteriebetriebene Gelenkbus besitzt eine Batterie, welche zwei Elektro-Nabenmotoren mit Strom versorgt. Die Batterie befindet sich auf dem Dach des Busses und wird über Nacht im Depot vollständig geladen. Die Reichweite ist sehr beschränkt und beträgt 60 km bei einer Kapazität von 140 Personen. Zudem ist der Gelenkbus mit einem Leergewicht von rund 24 Tonnen sehr schwer.

Fahrzeugpreis: ca. 760'000 Franken.

**Tabelle 8: Übersicht rein batteriebetriebener Bus**

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einfache Antriebsart</li> <li>+ Grosse Kapazität</li> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Leises Fahrverhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reichweite nur 60 km</li> <li>- Lange Ladezeiten</li> <li>- Hohe Infrastrukturkosten</li> <li>- Es werden doppelt so viele Busse benötigt</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Busart</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Battenebus</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Busart	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	Battenebus	20	Dieselbus	75	<table border="1"> <caption>Projektiertes CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km) von 2017 bis 2039</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (= Vergleichsbasis)</th> <th>Batteriebetriebener Bus</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td><td>40</td></tr> <tr><td>2019</td><td>30</td><td>60</td></tr> <tr><td>2021</td><td>40</td><td>80</td></tr> <tr><td>2023</td><td>50</td><td>100</td></tr> <tr><td>2025</td><td>60</td><td>120</td></tr> <tr><td>2027</td><td>70</td><td>140</td></tr> <tr><td>2029</td><td>80</td><td>160</td></tr> <tr><td>2031</td><td>90</td><td>180</td></tr> <tr><td>2033</td><td>100</td><td>200</td></tr> <tr><td>2035</td><td>110</td><td>220</td></tr> <tr><td>2037</td><td>120</td><td>240</td></tr> <tr><td>2039</td><td>130</td><td>260</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (= Vergleichsbasis)	Batteriebetriebener Bus	2017	20	40	2019	30	60	2021	40	80	2023	50	100	2025	60	120	2027	70	140	2029	80	160	2031	90	180	2033	100	200	2035	110	220	2037	120	240	2039	130	260
Busart	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Battenebus	20																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (= Vergleichsbasis)	Batteriebetriebener Bus																																												
2017	20	40																																												
2019	30	60																																												
2021	40	80																																												
2023	50	100																																												
2025	60	120																																												
2027	70	140																																												
2029	80	160																																												
2031	90	180																																												
2033	100	200																																												
2035	110	220																																												
2037	120	240																																												
2039	130	260																																												

Aufgrund der beschränkten Reichweite müssen doppelt so viele Busse eingesetzt werden, was die Kostenbilanz deutlich verschlechtert.

7 Multi-Hybridbus (Kombination Diesel mit Elektro und Ladestation)

Der Multi-Hybridbus ist ein Gelenkbus mit einer Kapazität von 110 Personen und einer Länge von 18 Metern. Ausgestattet ist er mit einem vollwertigen Euro 6 Dieselmotor, einer Batterie, zwei Elektro-Nabennmotoren und einer zusätzlichen Lademöglichkeit durch einen Pantografen (Opportunity Charging). Je mehr Pantografen zur Verfügung stehen, desto geringer werden die durch den Dieselmotor verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Innerhalb von maximal sechs Minuten vermag sich die Batterie komplett aufzuladen.

Fahrzeugpreis: ca. 550'000 Franken.

Tabelle 9: Übersicht Multi-Hybridbus

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Einmal am Tag tanken</li> <li>+ Kann auch mit Batterie fahren (Stadtverkehr)</li> <li>+ Rekuperation (Energierückgewinnung) möglich</li> <li>+ Durch Nutzung von Pantografen weniger örtliche CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Ist vielseitig in unterschiedlichen Traktionsnutzungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dieselmotoren</li> <li>- CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>- Warten von unterschiedlichen Systemen (Diesel, Elektromotoren, Batterien)</li> <li>- Schnellladevorgang von 6 Minuten für unsere Bedürfnisse zu langsam → Nutzung doppelt so viele Busse</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Bus-Typ</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Multi-Hybrid</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	Multi-Hybrid	38	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Multi-Hybridbus</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Multi-Hybridbus (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td><td>30</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td><td>60</td></tr> <tr><td>2021</td><td>60</td><td>90</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80</td><td>130</td></tr> <tr><td>2025</td><td>100</td><td>170</td></tr> <tr><td>2027</td><td>120</td><td>210</td></tr> <tr><td>2029</td><td>140</td><td>250</td></tr> <tr><td>2031</td><td>160</td><td>290</td></tr> <tr><td>2033</td><td>180</td><td>330</td></tr> <tr><td>2035</td><td>200</td><td>360</td></tr> <tr><td>2037</td><td>220</td><td>390</td></tr> <tr><td>2039</td><td>240</td><td>420</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Multi-Hybridbus (Mio. Franken)	2017	20	30	2019	40	60	2021	60	90	2023	80	130	2025	100	170	2027	120	210	2029	140	250	2031	160	290	2033	180	330	2035	200	360	2037	220	390	2039	240	420
Bus-Typ	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Multi-Hybrid	38																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Multi-Hybridbus (Mio. Franken)																																												
2017	20	30																																												
2019	40	60																																												
2021	60	90																																												
2023	80	130																																												
2025	100	170																																												
2027	120	210																																												
2029	140	250																																												
2031	160	290																																												
2033	180	330																																												
2035	200	360																																												
2037	220	390																																												
2039	240	420																																												

③ E-Bus mit Schnellladesystem (Opportunity Charging Inductive OCI)

Der E-Bus wird über eine Induktionsladestation geladen. An Endhaltestellen oder Plätzen mit Wartezeit lädt der Bus über die Ladeplatte durch Induktion innerhalb von 4 Minuten seine Batterien neu auf. Seine Reichweite bei ausbleibender Wiederaufladung beträgt mit vollgeladenen Batterien 36 km (geländeabhängig). Er besitzt eine Kapazität von 115 Personen und wiegt 19 Tonnen (Leergewicht).

Fahrzeugpreis: ca. 750'000 Franken.

Tabelle 10: Übersicht E-Bus OCI

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Keine verkehrsstörende Ladestation im Vergleich zu OCC (Ⓢ)</li> <li>+ Schnelles Laden (4 Minuten pro Ladung)</li> <li>+ Gute Kapazität (115 Sitz-/Stehplätze)</li> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Keine Geräusche beim Fahren</li> <li>+ Schweizer Hersteller verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Baukosten für die Ladestationen</li> <li>- Kann nur in Reichweite der Ladestationen gefahren werden</li> <li>- Für Bevölkerung keine Innovation erkennbar, da alles verborgen abläuft</li> <li>- Limitierte Reichweite bei ausbleibender Wiederaufladung (ca. 36 km, geländeabhängig)</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-Bus OCI</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Modell	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	E-Bus OCI	18	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — E-Gelenkbus OCI</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>E-Gelenkbus OCI (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>2019</td><td>45</td><td>45</td></tr> <tr><td>2021</td><td>65</td><td>65</td></tr> <tr><td>2023</td><td>85</td><td>85</td></tr> <tr><td>2025</td><td>105</td><td>105</td></tr> <tr><td>2027</td><td>125</td><td>125</td></tr> <tr><td>2029</td><td>150</td><td>140</td></tr> <tr><td>2031</td><td>180</td><td>155</td></tr> <tr><td>2033</td><td>210</td><td>165</td></tr> <tr><td>2035</td><td>240</td><td>175</td></tr> <tr><td>2037</td><td>270</td><td>185</td></tr> <tr><td>2039</td><td>280</td><td>200</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	E-Gelenkbus OCI (Mio. Franken)	2017	25	25	2019	45	45	2021	65	65	2023	85	85	2025	105	105	2027	125	125	2029	150	140	2031	180	155	2033	210	165	2035	240	175	2037	270	185	2039	280	200
Modell	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
E-Bus OCI	18																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	E-Gelenkbus OCI (Mio. Franken)																																												
2017	25	25																																												
2019	45	45																																												
2021	65	65																																												
2023	85	85																																												
2025	105	105																																												
2027	125	125																																												
2029	150	140																																												
2031	180	155																																												
2033	210	165																																												
2035	240	175																																												
2037	270	185																																												
2039	280	200																																												



9 Trolleybusse mit In Motion Charging (IMC)

Der Gelenktrolleybus IMC ist ein E-Bus mit Batterie, der die Energie wie beim klassischen Trolleybus von Oberleitungen bezieht. Im Unterschied zum klassischen Trolleybus braucht der Trolley IMC jedoch keine durchgängigen Fahrleitungen, sondern kann mit der Batterie auch fahrleitungsfreie Strecken fahren.

Der Bus besitzt eine Batterie mit einer Reichweite von 3 bis 15 km – je nach Passagieraufkommen und zugeschalteter Heizung bzw. Klimaanlage. Die Kapazität beträgt 145 Personen und das Gesamtgewicht beläuft sich auf 31 Tonnen. Der 19 Meter lange Gelenktrolleybus ist ausgestattet mit zwei Gleichstrommotoren, welche zusammen 240 PS leisten. Damit kann er auch im Winter steile Auffahrten problemlos meistern.

Fahrzeugpreis: ca. 1'000'000 Franken.

Tabelle 11: Übersicht Trolleybus mit IMC

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Nachladen der Batterie über Nacht</li> <li>+ Zwei angetriebene Achsen</li> <li>+ Grosse Kapazität</li> <li>+ Rein elektrischer Bus</li> <li>+ Rekuperation (Energierückgewinnung) direkt in die Batterie möglich</li> <li>+ Schweizer Hersteller verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sehr hohe Baukosten der Oberleitungen</li> <li>– Sehr hohe Betriebskosten</li> <li>– Kann nur in Reichweite der Oberleitungen eingesetzt werden</li> <li>– Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trolley IMC</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Ausstoss (g/1.5p/km)	Trolley IMC	14	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — Trolleybus mit IMC</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>Trolleybus mit IMC (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>2019</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>2021</td><td>60</td><td>60</td></tr> <tr><td>2023</td><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>2025</td><td>100</td><td>100</td></tr> <tr><td>2027</td><td>120</td><td>120</td></tr> <tr><td>2029</td><td>140</td><td>140</td></tr> <tr><td>2031</td><td>160</td><td>150</td></tr> <tr><td>2033</td><td>180</td><td>160</td></tr> <tr><td>2035</td><td>200</td><td>170</td></tr> <tr><td>2037</td><td>220</td><td>180</td></tr> <tr><td>2039</td><td>240</td><td>190</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Trolleybus mit IMC (Mio. Franken)	2017	20	20	2019	40	40	2021	60	60	2023	80	80	2025	100	100	2027	120	120	2029	140	140	2031	160	150	2033	180	160	2035	200	170	2037	220	180	2039	240	190
Modell	Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
Trolley IMC	14																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	Trolleybus mit IMC (Mio. Franken)																																												
2017	20	20																																												
2019	40	40																																												
2021	60	60																																												
2023	80	80																																												
2025	100	100																																												
2027	120	120																																												
2029	140	140																																												
2031	160	150																																												
2033	180	160																																												
2035	200	170																																												
2037	220	180																																												
2039	240	190																																												

⑩ E-Bus mit Schnellladesystem (Opportunity Charging Conductive OCC)

Der E-Bus mit Schnellladesystem (Opportunity Charging Conductive) ist ein 18 Meter langer Gelenkbus mit einer Kapazität von 140 Personen. Die Energie bezieht der Bus von einer auf dem Dach installierten Batterie, welche an bestimmten Haltestellen geladen wird. Der Vorgang dauert nur 15 Sekunden, während die Passagiere ein- und aussteigen. An den Haltestellen und im Depot werden die Akkus jeweils voll nachgeladen. Dort dauert der Vorgang mehrere Minuten.

Fahrzeugpreis: ca. 1'000'000 Franken.

Tabelle 12: Übersicht E-Bus mit OCC

Vorteile	Nachteile																																													
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ So gut wie keine Fahrgeräusche</li> <li>+ Örtlich keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Grosse Kapazität bis zu 140 Sitz-/Stehplätze</li> <li>+ Benötigt keine Oberleitungen</li> <li>+ Schneller Ladevorgang 15 Sekunden</li> <li>+ Wird nur an bestimmten Haltestellen geladen</li> <li>+ Bestehender Fahrplan kann eingehalten werden</li> <li>+ Mit kleinen Infrastrukturanpassungen auf der Linie 1 einsetzbar</li> <li>+ Skalierbar auf alle Linien</li> <li>+ Schweizer Hersteller verfügbar</li> <li>+ Erprobte Technik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Baukosten der Plug-In Schnellladestationen</li> <li>- Limitierte Reichweite bei ausbleibender Wiederaufladung (ca. 36 km, geländeabhängig)</li> <li>- Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> <li>- Hoher Fahrzeugpreis</li> </ul>																																													
Ökologie	Ökonomie																																													
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Dieselbus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>CO<sub>2</sub>-Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E-Bus OCC</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Dieselbus</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Modell	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)	E-Bus OCC	16	Dieselbus	75	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <p>— Diesel (= Vergleichsbasis) — E-Gelenkbus mit OCC</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Diesel (Mio. Franken)</th> <th>E-Gelenkbus mit OCC (Mio. Franken)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>2019</td><td>50</td><td>50</td></tr> <tr><td>2021</td><td>75</td><td>75</td></tr> <tr><td>2023</td><td>100</td><td>100</td></tr> <tr><td>2025</td><td>125</td><td>125</td></tr> <tr><td>2027</td><td>150</td><td>140</td></tr> <tr><td>2029</td><td>175</td><td>155</td></tr> <tr><td>2031</td><td>200</td><td>170</td></tr> <tr><td>2033</td><td>225</td><td>185</td></tr> <tr><td>2035</td><td>250</td><td>190</td></tr> <tr><td>2037</td><td>275</td><td>190</td></tr> <tr><td>2039</td><td>280</td><td>190</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Diesel (Mio. Franken)	E-Gelenkbus mit OCC (Mio. Franken)	2017	25	25	2019	50	50	2021	75	75	2023	100	100	2025	125	125	2027	150	140	2029	175	155	2031	200	170	2033	225	185	2035	250	190	2037	275	190	2039	280	190
Modell	CO <sub>2</sub> -Ausstoss (g/1.5p/km)																																													
E-Bus OCC	16																																													
Dieselbus	75																																													
Jahr	Diesel (Mio. Franken)	E-Gelenkbus mit OCC (Mio. Franken)																																												
2017	25	25																																												
2019	50	50																																												
2021	75	75																																												
2023	100	100																																												
2025	125	125																																												
2027	150	140																																												
2029	175	155																																												
2031	200	170																																												
2033	225	185																																												
2035	250	190																																												
2037	275	190																																												
2039	280	190																																												

### 3.2.1 Gegenüberstellung der Investitionskosten

In der nachfolgenden Tabelle 13 sind die Investitionskosten aller zehn Traktionsarten gegenübergestellt.

**Tabelle 13: Investitionskosten im Vergleich**

	① Dieselbus	② Trolleybus	③ Hybridbus	④ Gas-Bus	⑤ Brennstoffzellen-Bus	⑥ Rein batteriebetriebener Bus	⑦ Multi-Hybridbus	⑧ E-Bus OCl	⑨ Trolleybus IMC	⑩ E-Bus OCC
<b>[in Mio. Franken]</b>										
Vorbereitungsarbeit	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Öffentliche Beschaffung inklusive Vorplanung	0.42	0.73	0.65	0.75	0.90	0.50	0.75	0.63	0.55	0.63
Systemtest	0.14	0.17	0.14	0.14	0.14	0.14	0.27	0.27	0.27	0.27
Schnellladestationen bzw. Oberleitungen (Variante Trolley)	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	1.60	10.50	1.60
Infrastrukturbedarf im Depot Ebnat inklusive Planung	7.38	7.18	7.38	9.18	11.18	7.18	7.38	7.18	7.18	7.18
Ladestationen im Depot Ebnat	0.00	0.10	0.00	0.00	0.30	1.30	0.35	0.35	0.35	0.35
Rollmaterial	6.00	9.50	7.50	7.00	9.50	14.50	12.50	11.50	9.50	9.50
Einführung	0.65	0.68	0.76	0.83	1.11	1.26	1.01	1.01	1.01	1.01
<b>Total Kosten</b>	<b>14.63</b>	<b>30.40</b>	<b>16.47</b>	<b>17.94</b>	<b>23.17</b>	<b>24.92</b>	<b>23.90</b>	<b>22.58</b>	<b>29.40</b>	<b>20.58</b>
davon Kosten Infrastruktur	7.38	19.28	7.38	9.18	11.48	8.48	9.33	9.13	18.03	9.13
Mitfinanzierung Agglomerationsprogramm <sup>3</sup>		4.38	2.95		4.38	3.39	3.73	3.65	4.38	3.65
<b>Netto-Investitionskosten</b>	<b>14.63</b>	<b>26.02</b>	<b>13.52</b>	<b>17.94</b>	<b>18.79</b>	<b>21.53</b>	<b>20.17</b>	<b>18.93</b>	<b>25.02</b>	<b>16.93</b>

<sup>3</sup> Abzug nur möglich bei Traktionsarten, welche dem Programm entsprechen

### 3.2.2 Gegenüberstellung der Betriebskosten

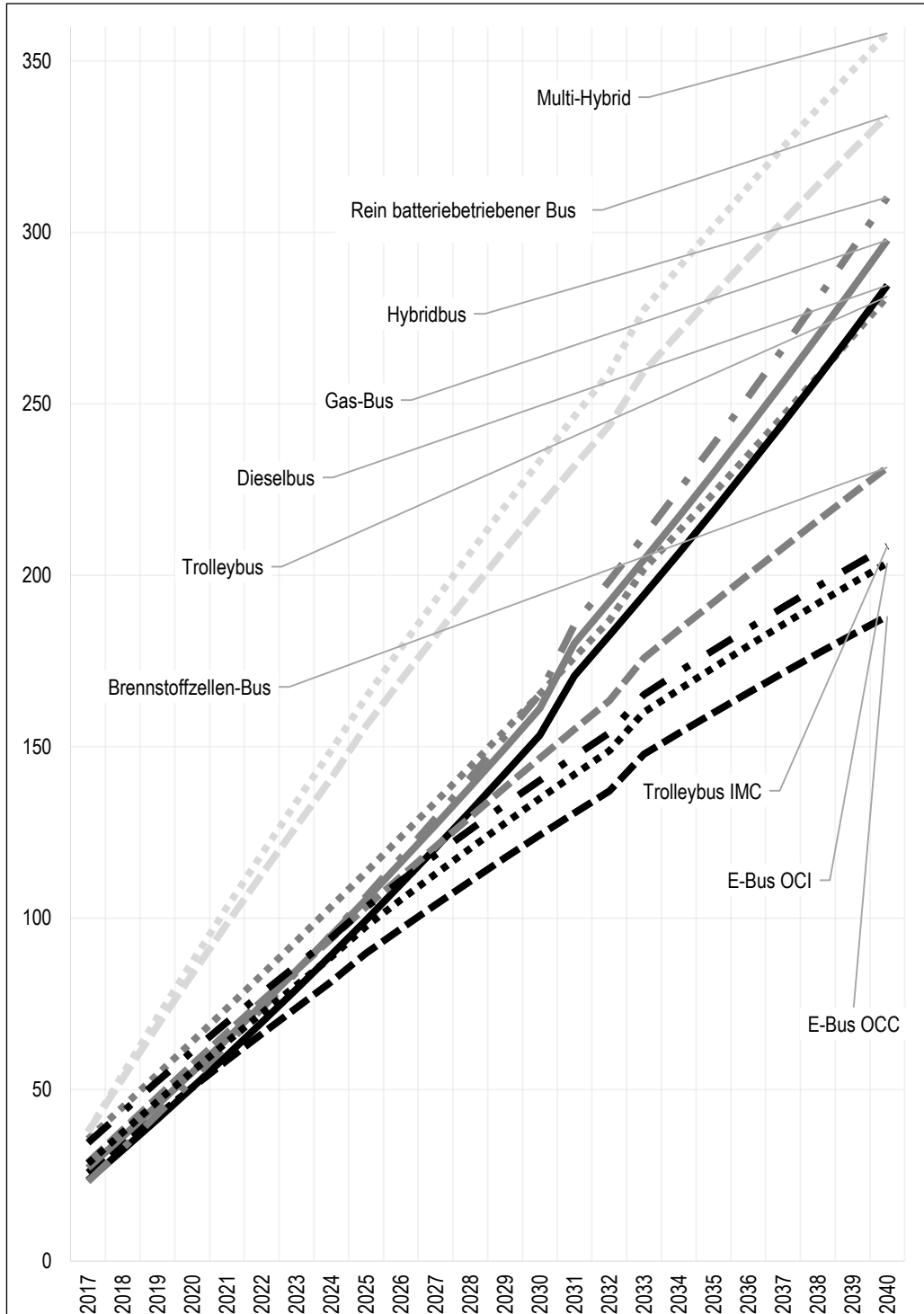
Der E-Bus OCC (⑩) schneidet im Betriebskostenvergleich (Tabelle 13) bei einkalkulierten Abschreibungen mit 8.44 Franken pro Kilometer am besten ab. Der Dieselbus (①) liegt mit 8.50 Franken pro Kilometer auf dem zweiten Platz. Die unter Kapitel 3.2 jeweils dargestellten kumulierten Kosten sind zum Vergleich in Abbildung 1 zusammengefasst.

**Tabelle 14: Betriebskosten der verschiedenen Traktionen im Vergleich**

[in Franken pro km]		① Dieselbus	② Trolleybus	③ Hybridbus	④ Gas-Bus	⑤ Brennstoffzellen-Bus	⑥ Rein batteriebetriebener Bus	⑦ Multi-Hybridbus	⑧ E-Bus OCI	⑨ Trolleybus IMC	⑩ E-Bus OCC
1	Betriebskosten	4.54	4.54	4.54	4.54	4.54	8.18	8.18	4.54	4.54	4.54
2	Fahrstrom, Bereifung	0.65	0.55	0.62	0.72	1.09	1.17	1.10	0.62	0.53	0.59
3	Fahrzeugunterhalt	0.82	0.66	1.48	0.87	0.97	1.89	2.66	0.63	0.63	0.63
4	Abschreibungen	0.44	0.56	0.58	0.53	0.78	1.14	0.96	0.56	0.56	0.56
5	Variable Kosten Garagendienst	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.47	0.47	0.26	0.26	0.26
6	Fixe Kosten Garagendienst	0.28	0.30	0.30	0.30	0.33	0.54	0.54	0.30	0.30	0.30
7	Unterhalt der Anlagen	0.09	0.82	0.11	0.14	0.16	0.25	0.27	0.67	0.82	0.14
8	Abrechnung und Verkauf	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	1.05	1.05	0.58	0.58	0.58
9	Verwaltung	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	1.51	1.51	0.84	0.84	0.84
10	<b>Total Betriebskosten</b>	<b>8.50</b>	<b>9.12</b>	<b>9.32</b>	<b>8.79</b>	<b>9.56</b>	<b>15.50</b>	<b>16.74</b>	<b>9.00</b>	<b>9.06</b>	<b>8.44</b>

Die kumulierten Kosten (Anfangsinvestition, Betriebskosten und Folgeinvestitionen) zeigen das in Abbildung 1 gezeigte Bild.

**Abbildung 1: Kumulierte Kosten in Mio. Franken**

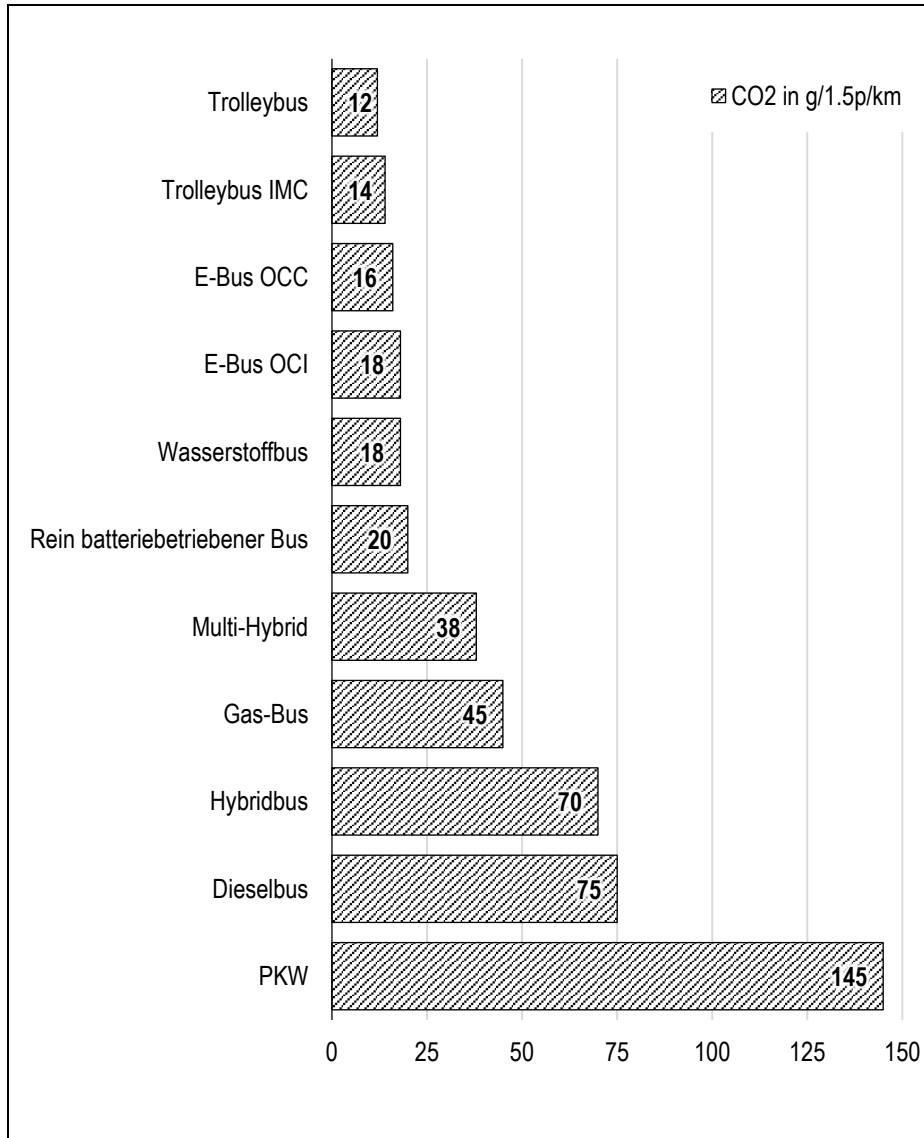


Bei Berücksichtigung der Mitfinanzierung durch den Bund (bei allen relevanten Traktionen berücksichtigt) wird die Kostengleichheit zwischen E-Bus OCC und dem Diesel bereits nach fünf Jahren erreicht.

### 3.2.3 Gegenüberstellung betreffend CO<sub>2</sub>-Ausstoss

Der Trolleybus (②) schneidet im Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 12 g/1.5p/km am besten ab. Nur wenig dahinter folgen der Trolleybus IMC (⑨) und der E-Bus OCC (⑩). Der Dieselbus (①) liegt mit 75 g/1.5p/km auf dem letzten Platz dieses Vergleiches.

**Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Ausstoss der verschiedenen Traktionen im Vergleich**



### 3.2.4 Gesamtbewertung

Die zehn beschriebenen Traktionsarten sind in der nachfolgenden Tabelle 15 zusammengefasst und mit einer einfachen Methodik bewertet. Ökonomie und Ökologie werden je nach Resultat mit maximal drei Plus- bis drei Minuspunkten bewertet, die Anzahl Vor- und Nachteile sind ebenfalls als Plus- und Minuspunkte eingeflossen. Im Total wird die Summe der erreichten Punkte pro Traktion dargestellt. Diese Art der Bewertung ist bewusst sehr einfach gehalten, ergibt aber dennoch ein gutes Bild der derzeitigen Marktsituation betreffend Traktionen.

**Tabelle 15: Bewertung der verschiedenen Traktionsarten**

Bus Typ	Ökonomie	Ökologie	Anzahl Vorteile	Anzahl Nachteile	Total
❶ Dieselbus	+++	---	4	-4	0
❷ Trolleybus	---	+++	3	-3	0
❸ Hybridbus	+	--	4	-4	-1
❹ Gas-Bus	+	--	2	-5	-4
❺ Multi-Hybrid	---	+	3	-5	-4
❻ Rein batteriebetriebener Bus	---	++	3	-5	-3
❼ Wasserstoffbus	---	++	3	-6	-4
❸ E-Bus (OCI)	-	+++	4	-5	1
❹ Trolleybus (IMC)	-	+++	4	-3	3
❿ E-Bus (OCC)	+	+++	7	-4	7

### 3.3 Prüfung Umstellung Trolley auf IMC

Im Rahmen der Diskussionen zur zukünftigen Elektromobilität, insbesondere im öffentlichen Verkehr, wird gerne der Trolleybus als vorbildliches Bussystem erwähnt. Dies ist aus energietechnischer Sicht sicherlich richtig. Aus betrieblicher Sicht ist der Trolleybus jedoch wenig flexibel und seit 50 Jahren technisch auf dem gleichen Stand verblieben.

Da die heute eingesetzten Trolleybusse der VBSH noch eine Lebensdauer von rund zehn Jahren aufweisen, bietet sich die Umrüstung auf den Trolley IMC an. Damit können die Fahrzeuge «fit» und flexibler gemacht werden. Der Trolley IMC ist damit der Trolley der Zukunft.

Die bestehenden Trolleybusse werden mit einer Batterie ausgerüstet. Die Batterie treibt den Motor an und kann mit den bestehenden Oberleitungen während der Fahrt geladen werden. Der Vorteil dieser Technik liegt darin, dass die Oberleitung um bis zu 40 Prozent abgebaut werden kann. Dadurch werden grosse Kosten der Fahrleitungswartung gespart. Ausserdem besteht die Möglichkeit, sanierungsbedürftige Teilstrecken direkt abzubauen anstatt kostenintensiv wiederherzustellen. Das IMC ermöglicht zudem, dass bei jedem Bremsvorgang die Energie in die eingebaute Batterie rekuperiert, das heisst gespeichert wird, wodurch geringere Strom- respektive Betriebskosten erwartet werden.

Umrüstungspreis für sieben Trolleybusse: ca. 1'500'000 Franken.

**Tabelle 16: Vor- und Nachteile bei Umrüstung Trolleybusse auf IMC**

Vorteile	Nachteile																																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Keine CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>+ Nachladen der Batterie über Nacht</li> <li>+ Zwei angetriebene Achsen</li> <li>+ Grosse Kapazität</li> <li>+ Rein elektrischer Bus</li> <li>+ Rekuperation (Energierückgewinnung) direkt in die Batterie möglich</li> <li>+ Schweizer Hersteller verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kann nur in Reichweite der Oberleitungen eingesetzt werden</li> <li>– Nachteile Batterie: Kurze Lebensdauer nur 8 Jahre, hohe Wiederbeschaffungskosten</li> </ul>																																				
Ökologie	Ökonomie																																				
<p>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km (im Vergleich zum Trolleybus)</p> <table border="1"> <caption>CO<sub>2</sub>-Ausstoss in g/1.5p/km</caption> <thead> <tr> <th>Modell</th> <th>Ausstoss (g/1.5p/km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trolleybus</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Trolley IMC</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>	Modell	Ausstoss (g/1.5p/km)	Trolleybus	12	Trolley IMC	14	<p>Kumulierte Kosten in Mio. Franken</p> <table border="1"> <caption>Kumulierte Kosten in Mio. Franken (geschätzt)</caption> <thead> <tr> <th>Jahr</th> <th>Trolleybus klassisch</th> <th>Trolleybus IMC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2017</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>2018</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>2019</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>2020</td><td>20</td><td>20</td></tr> <tr><td>2021</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>2022</td><td>30</td><td>30</td></tr> <tr><td>2023</td><td>35</td><td>35</td></tr> <tr><td>2024</td><td>40</td><td>45</td></tr> <tr><td>2025</td><td>45</td><td>50</td></tr> </tbody> </table>	Jahr	Trolleybus klassisch	Trolleybus IMC	2017	5	5	2018	10	10	2019	15	15	2020	20	20	2021	25	25	2022	30	30	2023	35	35	2024	40	45	2025	45	50
Modell	Ausstoss (g/1.5p/km)																																				
Trolleybus	12																																				
Trolley IMC	14																																				
Jahr	Trolleybus klassisch	Trolleybus IMC																																			
2017	5	5																																			
2018	10	10																																			
2019	15	15																																			
2020	20	20																																			
2021	25	25																																			
2022	30	30																																			
2023	35	35																																			
2024	40	45																																			
2025	45	50																																			



### 3.3.1 Gegenüberstellung der Investitionskosten

Die Umrüstung der bestehenden Trolleybusflotte der VBSH auf das System IMC verursacht einmalige Investitionskosten von 1.7 Mio. Franken.

**Tabelle 17: Investitionskosten für die Umrüstung der Linie 1 auf Trolleybus IMC im Vergleich zum klassischen Trolleybus**

Tätigkeiten / Schritt / Projekt Kosten in Franken	① Trolleybus	② Trolleybus um- rüsten auf (IMC) System
Vorbereitungsarbeit	0	6'000
Öffentliche Beschaffung Inklusiv Planung	0	2'000
Systemtest	0	25'000
Schnellladestationen am Bahnhof	0	0
Infrastrukturbedarf im Depot Ebnet	20'000	0
Ladestationen im Depot Ebnet	0	35'000
Rollmaterial	0	1'500'000
Rückbau der Oberleitung	0	200'000
Einführung	0	65'000
<b>Total Kosten</b>	20'000	1'833'000
<b>Kosten Infrastruktur</b>	20'000	35'000
<b>Mitfinanzierung Agglomerationsprogramm (Kap. 2.6)</b>	0	14'000
<b>Noch zu bewilligender Kredit</b>	<b>20'000</b>	<b>1'819'000</b>

### 3.3.2 Gegenüberstellung der Betriebskosten

Im Betriebskostenvergleich schneidet der Trolley IMC trotz höherer Abschreibungen (aufgrund der Initial-Investitionen) wegen der tieferen Unterhaltskosten mit 11.29 Franken pro Kilometer besser ab.

**Tabelle 18: Vergleich Betriebskosten Linie 1 klassischer Trolleybus und Trolleybus IMC**

[in Franken pro km]		● Trolleybus	Ⓣ Trolleybus umgerüstet auf IMC
1	Fahrdienst	5.18	5.18
2	Fahrstrom, Bereifung	0.59	0.57
3	Fahrzeugunterhalt	0.66	0.53
4	Abschreibungen	1.67	2.09
5	Variable Kosten Garagendienst	0.33	0.33
6	Fixe Kosten Garagendienst	0.29	0.29
7	Unterhalt der Anlagen	0.82	0.43
8	Abrechnung und Verkauf	0.77	0.77
9	Verwaltung	1.11	1.11
10	<b>Total Betriebskosten</b>	<b>11.42</b>	<b>11.29</b>

### 3.3.3 Gesamtbewertung

Die Umrüstung der Trolleys auf IMC lohnt sich wegen der tieferen Betriebskosten. Aus den tieferen Betriebskosten (siehe Kap.3.3.2) ergeben sich jährliche Einsparungen von rund 60'000 Franken. Ökologisch liefert der Trolley IMC vergleichbare Resultate.

**Tabelle 19: Bewertung Varianten für Linie 1, klassischer Trolley vs. Trolley IMC**

Bus Typ	Ökonomie	Ökologie	Anzahl Vorteile	Anzahl Nachteile	Total
● Trolleybus	---	+++	3	-3	0
Ⓣ Trolleybus IMC	--	+++	4	-3	2

## 4. Strategie Traktionsarten

Basierend auf der Evaluation der unterschiedlichen Traktionsarten (Kapitel 3.2), der Prüfung der Umstellung der Trolleybusse (Kapitel 3.3) sowie der Notwendigkeit, über eine Rückfallposition (Kapitel 2.4) verfügen zu können, wird folgende Beschaffungs-Strategie empfohlen:

- Umstellung auf E-Busse mit Schnellladesystem (Opportunity Charging Conductive OCC, ⑩)
- Umrüstung der bestehenden Trolleybusse durch Einfügen einer Traktionsbatterie (In Motion Charging IMC, ⑨)
- Dieselbusse (①) als Backupbeschaffung

### 4.1 Umstellung auf E-Busse mit Schnellladesystem (OCC)

Der E-Bus mit Schnellladesystem OCC stellt im Moment ökonomisch und ökologisch die beste Lösung dar.

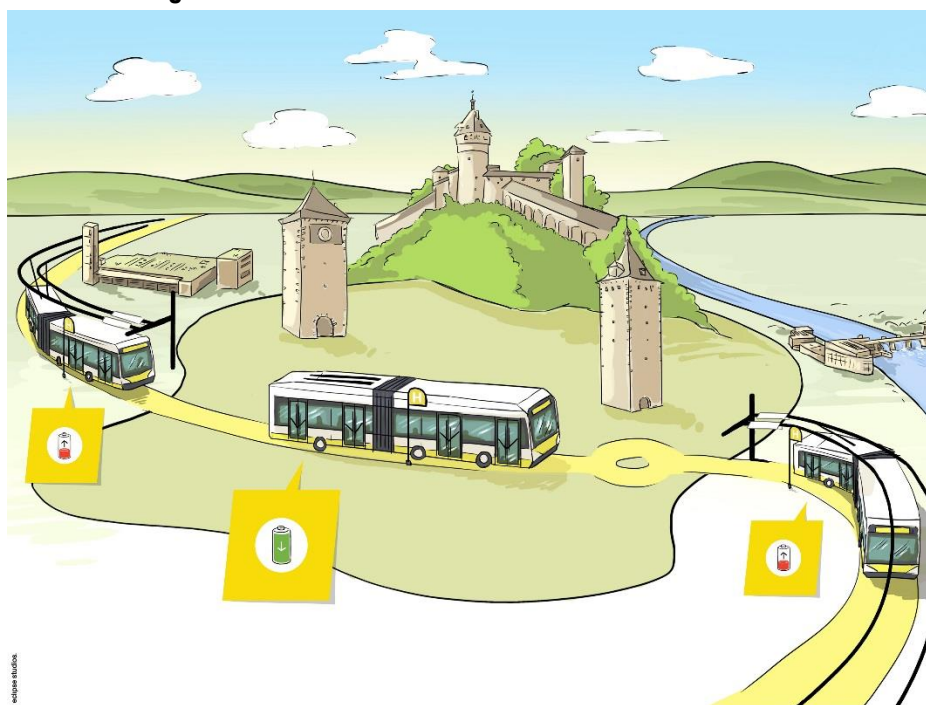
Ökonomisch gesehen wären die Kosten für einen kompletten Ausbau einer neuen Oberleitungslinie sehr intensiv, weshalb ein Aufstellen von Ladestationen am Bahnhof Schaffhausen vergleichsweise geringe Kosten generieren würde (siehe Investitionskosten unter Kapitel 6.1). Die benötigte Energie kann zudem lokal erzeugt werden. Somit bleiben die Energiekosten in der Stadt Schaffhausen und sind überschaubar. Der Umgang mit der Technologie ist langjährig bekannt und wird nur durch die Zugabe einer Batterie ergänzt. Dadurch werden geringe Einführungs- und Wartungskosten erwartet.

Ökologisch gesehen ist der E-Bus mit OCC ein rein elektrisch angetriebener Bus, wodurch bei einem umweltfreundlichen Strommix nur sehr geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen anfallen werden. Nach acht Jahren wird die sehr teure Batterie ausgewechselt und in einer stationären Anlage weiterverwendet, z.B. um Solarstrom zwischen zu speichern. Danach folgt das sachgerechte Zerlegen und Entsorgen dieser Batterie. Derzeit wird in einem parallelen Projekt geprüft, ob es ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist, einen stationären Zwischenspeicher mit den acht Jahre alten Busbatterien selber aufzubauen und diese mit einer eigenen Solargrossanlage zu speisen. Diese Energie kann dann nachts zum Wiederaufladen der Busse verwendet werden. Die sachgerechte Entsorgung der Batterie kann somit um weitere acht Jahre verzögert werden. Ein weiterer Vorteil wird darin gesehen, dass eine acht Jahre alte Batterie immer noch einen grossen Wert darstellt und somit nicht einfach zum Nulltarif wegegeben wird.

#### 4.2 Umrüstung Trolleybusse der Linie 1 auf IMC

Die Trolleybusse werden mit einer Traktionsbatterie ausgerüstet. Die Oberleitung wird zwischen Mühlentor und Feuerwehrzentrum entfernt. An den beiden Haltestellen werden sogenannte Einlauftrichter angebracht, die das Einbügeln der Fahrleitungsrueten vereinfachen. Des Weiteren werden im Depot Ladestationen installiert. Damit wird die vollständige Wiederaufladung der Traktionsbatterien über Nacht gewährleistet. Die Reichweite im Falle eines Stromausfalles beträgt ca. 15 Kilometer, was eine Rückfahrt ins Depot von jeder Stelle der Route ermöglicht.

**Abbildung 3: Funktionsweise des Trolleybusses IMC mit Ein- und Abbügeln an den Stadtkerngrenzen**



#### 4.3 Backupbeschaffung

Die Backupbeschaffung von optionalen Dieselnbussen ist deshalb notwendig, da der Kredit aus politischen Gründen nicht oder nicht rechtzeitig bewilligt werden könnte oder es wider Erwarten zu technischen Schwierigkeiten kommt.

Diese Backupbeschaffung stellt sicher, dass den VBSH jederzeit genügend Fahrzeuge zur Verfügung stehen, um den jetzigen und künftigen Fahrplan umfassend abdecken zu können.

Die Dieselnbus-Backupbeschaffung soll zusammen mit der RVSH durchgeführt werden. Die Beschaffung stellt sich wie folgt dar: Für die VBSH werden keine Busse bestellt, jedoch besteht die Möglichkeit mit dieser Beschaffung jederzeit Busse zu bestellen. Für die RVSH werden 2018 drei Busse benötigt, welche nach Abschluss der Beschaffung direkt bestellt werden.

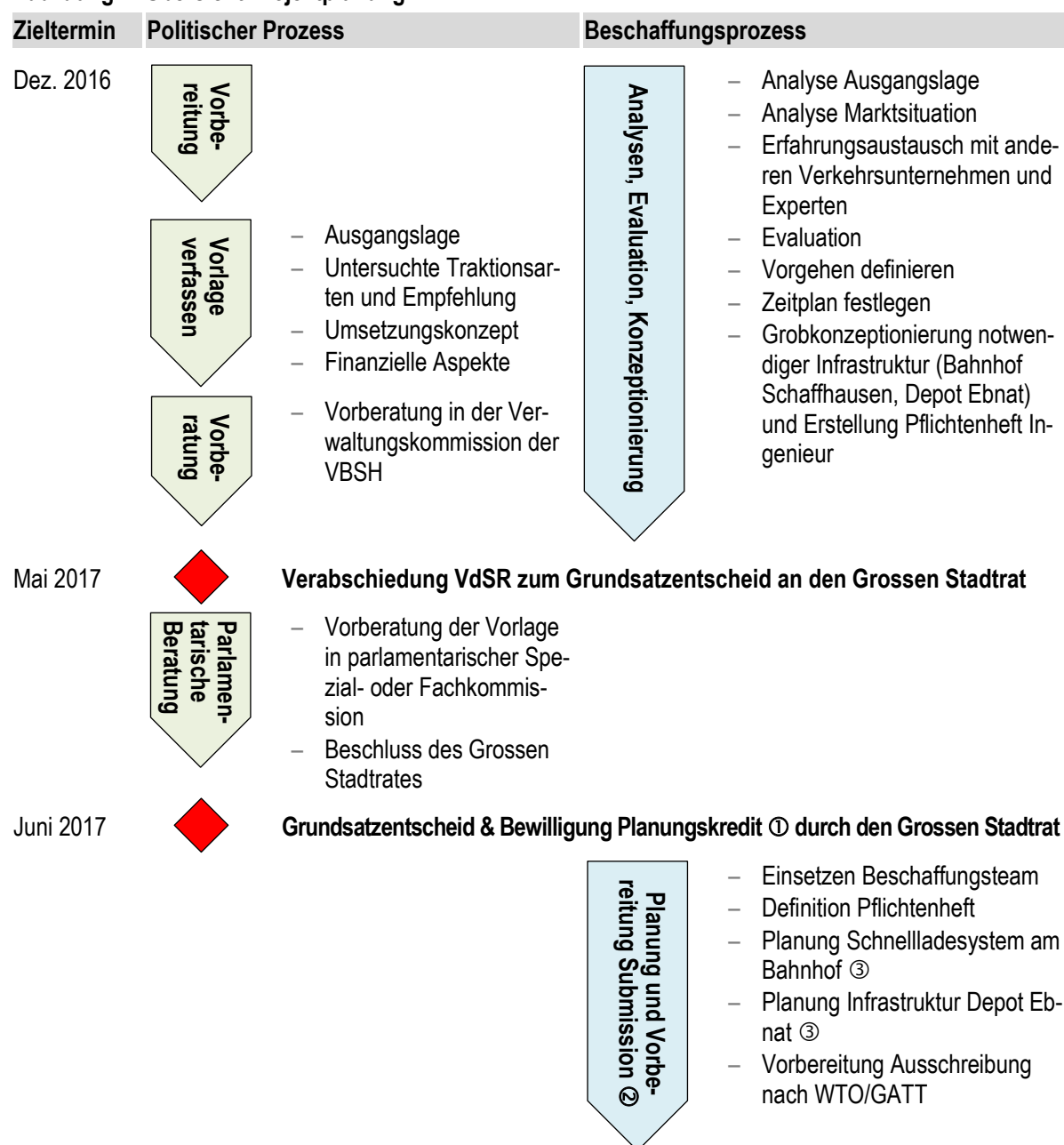
## 5. Weiteres Vorgehen und Umsetzungskonzept

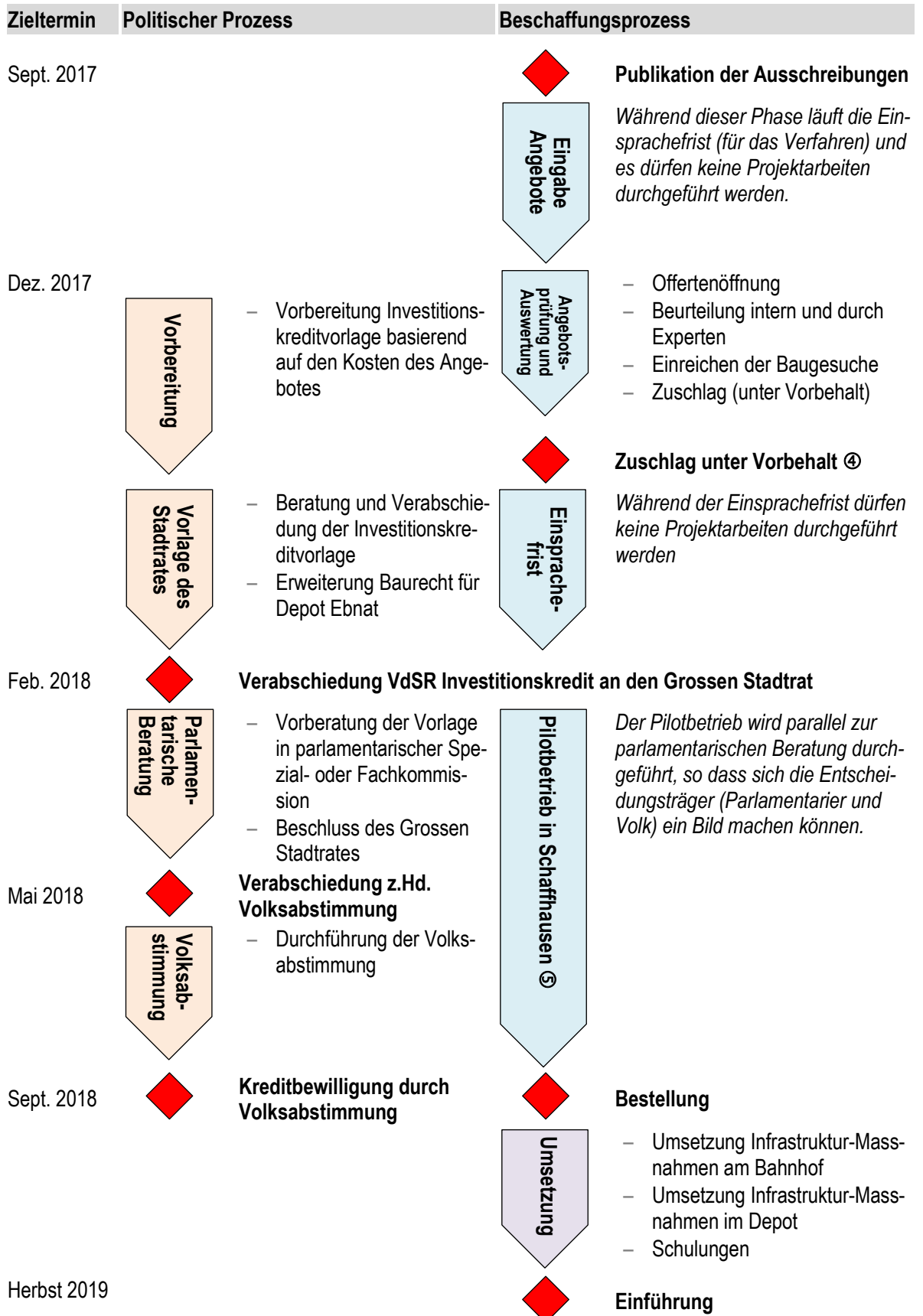
### 5.1 Übersicht Projektplanung

Für die Umsetzung sind komplexe Kreditbewilligungs-, Ausschreibungs- und Bauprozesse miteinander zu kombinieren und aufeinander abzustimmen.

Der Stadtrat beantragt auf der politischen Ebene ein zweistufiges Verfahren: Im ersten Schritt entscheidet der Grosse Stadtrat über den strategischen Grundsatzentscheid. Nach dem Submissionsverfahren wird der Stadtrat dem Parlament und dem Volk im zweiten Schritt den Investitionskredit für die Beschaffung unterbreiten.

**Abbildung 4: Übersicht Projektplanung**





## 5.2 Detailinformationen zum Vorgehen und zur geplanten Umsetzung

### ① Planungskredit

Mit dieser Vorlage wird dem Grossen Stadtrat ein Planungskredit beantragt (siehe Kapitel 6.4). Damit sollen für die Durchführung der Submission und der baulichen Planungsarbeiten Mittel bewilligt werden.

Die Mitglieder des Beschaffungsteams (Planer, Beschaffer und Ingenieur) müssen selbst auch im Einladungsverfahren beschafft werden (siehe Kapitel 6.4).

### ② Submission

Sobald der Kredit freigegeben ist, wird das Beschaffungsteam eingesetzt, welches die Submission durchführt.

Die Beschaffung umfasst eine sogenannte Backupbeschaffung für optionale Dieselfahrzeuge sowie die eigentliche Beschaffung der E-Busse mit OCC und der gesamten benötigten Infrastruktur inklusive deren Planung. Zusätzlich wird der Umbau der Trolleybusse auf IMC vorbereitet.

### ③ Planung Infrastruktur-Arbeiten am Bahnhof und im Depot

Abgestimmt auf das Submissionsverfahren müssen die Ladestationen am Bahnhof Schaffhausen (siehe auch Kap. 5.3.2) und die Erweiterung des Busdepots Ebnet (siehe auch Kap. 5.3.1) vorangetrieben werden. Dazu sind die Erweiterung des Baurechts, die Vergrößerung des Dachs und eine E-Tankstelle vorgesehen.

Um die Mitfinanzierung der Infrastrukturmassnahmen im Rahmen des Agglomerationsprogrammes II sicherstellen zu können, müssen dem Bund baufähige Projekte zur Prüfung eingereicht werden. Weiter darf der Baubeginn nicht vor dem Abschluss der Prüfung durch den Bund liegen.

### ④ Zuschlag unter Vorbehalt

Der Zuschlag im Submissionsverfahren wird unter folgenden Vorbehalten gegeben:

1. Kreditgenehmigung durch Parlament und Volk
2. Erfolgreicher Testbetrieb (siehe ⑤)

Der Testbetrieb hat den Charakter eines «Proof of concept». Die Verkehrsbetriebe sichern sich damit ab, dass die noch junge Technologie den spezifischen Anforderungen genügt und dies auch in der speziellen Topografie der Schaffhauser Stadtbushlinien.

Weiter hat der Testbetrieb den Vorteil, dass sich die Entscheidungsträger (Parlamentarier und Bevölkerung) noch vor dem abschliessenden Entscheid ein Bild vor Ort machen können.

Die Verkehrsbetriebe verbinden mit diesem Vorgehen auch die Erwartung, dass die Anbieter im umkämpften Markt dieser Zukunftstechnologie damit zu Spitzenleistungen animiert werden.

#### ⑤ Testbetrieb auf dem städtischen Busnetz

Um den Zuschlag zu erhalten, muss ein vierwöchiger Testbetrieb bestanden werden. Dieser sieht wie folgt aus:

Am Bahnhof wird eine mobile Gleichrichterstation mit einem Schnelllademasten aufgestellt, mit dem ein Testbus geladen werden kann. Der Testbus fährt dann zwischen den fahrplanmässigen Kursen und kann von den Passagieren frei benutzt werden. Zudem findet der Passagier im Testbus Informationen über die neuen Busse. Beim Test wird hauptsächlich auf die Batterie und dessen Ladezustand geachtet.

Es müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- Können die Umläufe mit der Batteriekapazität gewährleistet werden?
- Reicht die Batterie mit voll zugeschalteten peripheren Stromverbrauchern (Klimaanlage, Licht, Bordelektronik usw.) aus?
- Kann der Fahrplan den Anforderungen entsprechend gesichert werden?

### 5.3 Umsetzungsarbeiten

Sobald die Zustimmung zum Projekt via Volksabstimmung gegeben ist, werden die gemäss Beschaffung vorbereiteten Bestellungen ausgelöst. Parallel dazu werden die geplanten Infrastrukturprojekte angegangen.

Nachfolgend sind die aus heutiger Sicht notwendigen Arbeiten kurz beschrieben.

#### 5.3.1 Erweiterung Depot Ebnat

Um die Nachladung der OCC- und IMC-Busse zu gewährleisten, werden im Depot Ebnat 14 Ladestationen benötigt – mit der Möglichkeit diese zu erweitern. Damit können alle Fahrzeuge parallel über Nacht geladen werden (eine Ladedauer über Nacht beträgt vier Stunden). Mit den neuen OCC- und IMC-Bussen entsteht ein zusätzlicher Platzbedarf, da die Busse auf speziellen Parkplätzen mit Ladestationen abgestellt werden müssen. Ausserdem entsteht ein Platzbedarf von ca. 80 Quadratmetern für Gleichrichterstation und Trafoanlage um den deutlich erhöhten Strombedarf zu decken.

Aus diesem Grund wird das Depot um 24 Meter auf die gesamte Länge des Bürotraktes verlängert. Der dadurch entstandene Mangel an Personalparkplätzen wird im angrenzend nordwestlich liegenden Grundstück kompensiert. Benötigt werden 30 PW-Parkplätze und 3 Aussenabstellflächen für Reserve-Busse. Das benötigte zusätzliche Land befindet sich bereits im städtischen Eigentum und es ist die Erweiterung des Baurechtes um diese zusätzliche Fläche vorgesehen. Die Planung, Beschaffung und Baubewilligung muss bis zur Bestellung der OCC- und IMC-Busse abgeschlossen sein, um eine reibungslose Einführung der neuen Busse zu gewährleisten. Es wird von einer Bauzeit von elf Monaten ausgegangen.



### 5.3.2 Ladestationen am Bahnhof

Am Bahnhof Schaffhausen werden die elf benötigten Ladestationen gebaut: fünf auf der Seite des Bahnhofs (Fahrtrichtung Obertor) und sechs auf der Seite Stadt (Fahrtrichtung Adlerunterführung).

Am Bahnhof Schaffhausen wird jeder Haltesteig der Verkehrsbetriebe mit einer Ladestation versehen, obwohl am Anfang nur zehn OCC-Busse im Einsatz sein werden. Der Grund dafür ist das «chaotische» Einfahren der Busse nach dem «first in»-Prinzip. Dabei ist lediglich der Haltebereich der verschiedenen Buslinien im Voraus bekannt, die Busse werden dann pro Bereich in der Reihenfolge der Einfahrt abgestellt und haben keinen zugeteilten Steig.

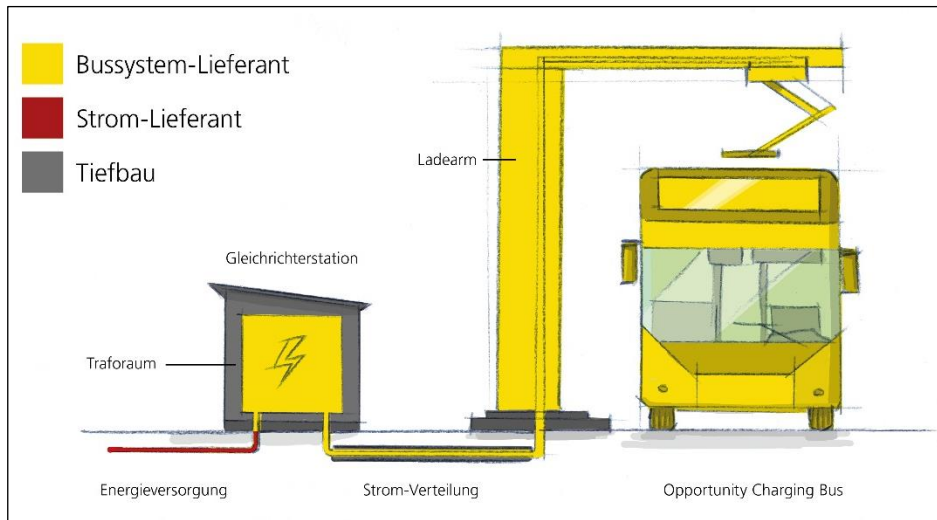
**Abbildung 5: Skizze der Ladestationen am Bahnhof Schaffhausen**



Die Ladestationen an jedem Haltesteig haben zudem den Vorteil, dass eine Vergrößerung der OCC-Flotte problemlos möglich ist. Die Kosten der einzelnen Ladestationen sind nicht sehr hoch und machen 30 Prozent der Gesamtkosten des Schnellladesystems aus. Der höchste Kostenanteil von 70 Prozent entfällt auf die Gleichrichterstation.

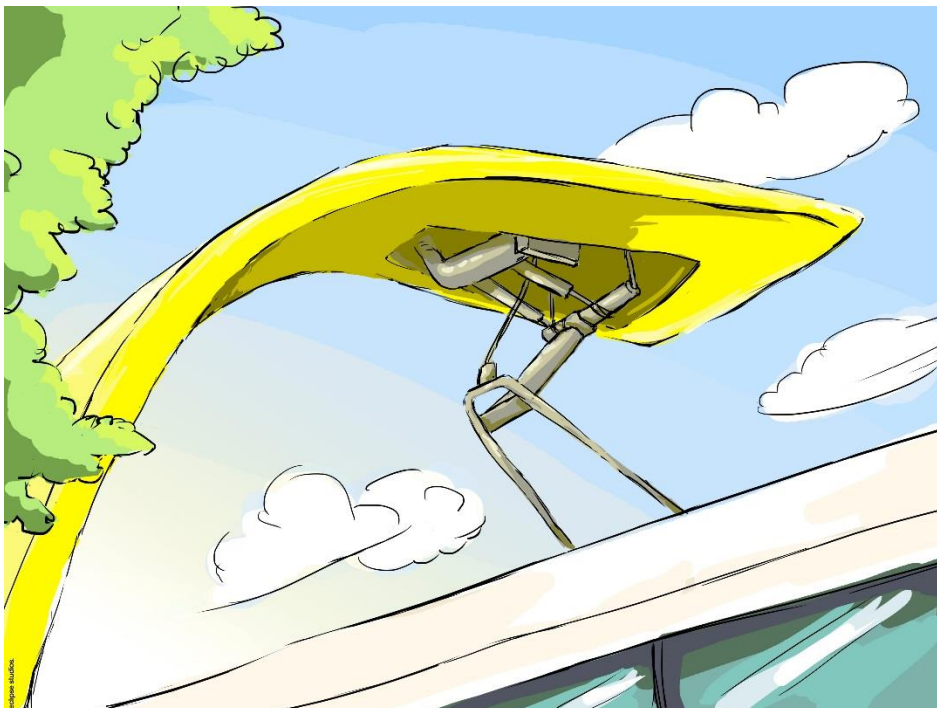
Im Zuge der Installation der Ladestationen sollen weitere bauliche Massnahmen zur Aufwertung der Bahnhofstrasse umgesetzt werden. Diese Massnahmen sind nicht Teil dieser Vorlage. Um den Zeitplan für die Busbeschaffung infolge der Umgestaltung der Bahnhofstrasse nicht zu gefährden, werden die baulichen Massnahmen, die einen Einfluss auf den Bau der Ladestationen haben, parallel geplant. Die Schnittstellen zum Tiefbauamt und zum Stromlieferanten sind beim Bau der Ladestationen klar abgegrenzt (vgl. Abbildung 6).

**Abbildung 6: Schematische Darstellung der Zuständigkeiten für Schnell-Ladestationen am Bahnhof**



In der Nähe dieser Ladestationen wird zudem eine Gleichrichterstation erstellt, die eine Ladekapazität von elf E-Bussen besitzt. Mit dieser Kapazität muss zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr nachgerüstet werden.

**Abbildung 7: Detail Ladestation für einen E-Bus mit Schnellladesystem (OCC)**



Die Planung, Beschaffung und Baubewilligung der Ladestationen am Bahnhof muss bis zur Bestellung der OCC- und IMC-Busse abgeschlossen sein, um eine reibungslose Einführung der neuen Busse zu gewährleisten. Es wird von einer Bauzeit von neun Monaten ausgegangen.

### 5.3.3 Umstellung der Linie 3 und Ergänzung der Linien 4 und 5 auf E-Busse mit Schnellladesystem OCC

Kurz nach Vollendung der Bauarbeiten im Depot (Kapitel 5.3.1) und am Bahnhof Schaffhausen (Kapitel 5.3.2) ist die Auslieferung der zehn E-Busse und deren Inbetriebnahme vorgesehen. Damit können unter anderem acht Dieselsebusse der ältesten Generation (sieben mit Jahrgang 2007 und ein Fahrzeug mit Jahrgang 2009) direkt ersetzt werden.

**Abbildung 8: Alle Haltesteige in der Bahnhofstrasse werden mit einer Ladestation ausgerüstet**



Mit der geplanten Verlängerung der Linie 5 zum Gründliacker, der Kürzung der Linie 6 bis Falkeneck sowie der Einführung der Linie 9 im Herblingertal (vgl. separate Vorlage «Mehr ÖV für Herblingen») entsteht ein zusätzlicher Fahrzeugbedarf von zwei Einheiten. Vorbehältlich der politischen Zustimmung des Grossen Stadtrates sowie der Volksabstimmung, voraussichtlich im November 2017, müssen jedoch diese beiden E-Busse nicht zu Vollkosten beschafft werden. Da in der Vorlage «Mehr ÖV für Herblingen» bereits zwei Dieselsebusse eingerechnet sind, muss bei diesen beiden Fahrzeugen die Preisdifferenz berücksichtigt werden.

Damit ist auch klar, dass die E-Busse nicht nur auf der Linie 3 eingesetzt werden. Drei E-Busse können beispielsweise auf der Linie 4 oder 5 eingesetzt werden. Beim Wechsel auf den 20-Minutentakt am Abend können die überzähligen E-Busse entweder zum Laden ins Depot gefahren werden oder sie kommen auf anderen Linien zum Einsatz und fahren erst bei Betriebsschluss ins Depot. Auch an Wochenenden können die Busse auf mehreren Linien zum Einsatz kommen, da der Ladevorgang untertags via Ladestationen am Bahnhof sichergestellt ist.

Die Submission wird so gestaltet, dass weitere Bestellungen zur sukzessiven Ablösung der bestehenden Dieselflotte gewährleistet sind. Eine vollständige Elektrifizierung wäre somit bis 2027 möglich.

#### 5.3.4 Umrüstung der Trolleybusse auf IMC

Nach der Volksabstimmung werden die sieben Gelenktrolleybusse umgebaut. Im Rhythmus von zwei Monaten wird jeweils ein Fahrzeug ausser Betrieb genommen und die Diesel-Notfahrt durch eine Traktionsbatterie ersetzt. Die ausgebauten Notfahrt-Motoren werden anschliessend durch eine externe Firma fachgerecht entsorgt.

#### 5.3.5 Abschlussarbeiten / Rückbau

Sind alle Trolleybusse umgerüstet, können einzelne Abschnitte der Fahroberleitung entfernt werden, da für das Nachladen der Traktionsbatterie nur noch rund 60 Prozent Wegstrecke unter Strom benötigt werden.

Der Rückbau der Oberleitungen soll prioritär im Abschnitt zwischen Mühlenort und Feuerwehrzentrum erfolgen, da diese Strecke äusserst wartungsintensiv ist und nur ein geringes Gefälle von ca. 50 Metern aufweist. Somit wird auch die gesamte Bahnhofstrasse in einem ersten Schritt oberleitungsfrei gemacht.

Weitere Rückbauabschritte im Gebiet Neuhausen und Waldfriedhof sind geplant. Im Vordergrund steht der Streckenabschnitt Neuhausen Zentrum–Scheidegg. Die Gemeinde Neuhausen am Rheinfall plant die Neugestaltung der Zentralstrasse. Dieses Projekt hat einen Umsetzungshorizont in den Jahren 2018 und 2019. Es ist vorgesehen, dieses Projekt mit dem Rückbau der Fahrleitungen abzustimmen.

## 6. **Finanzielle Aspekte**

### 6.1 Voraussichtliche Investitionskosten

Die Investitionskosten sind gemäss dem heutigen Stand der Marktbefragung aufgelistet. Aus beschaffungsrechtlichen Gründen durften nur Richtpreise und keine Offerten eingeholt werden.

Die Netto-Investitionskosten gemäss vorliegender Strategie werden voraussichtlich 18.8 Mio. Franken betragen. Bei einer Beschaffung nach herkömmlicher Traktion (Backupbeschaffung) liegen die Investitionskosten bei 14.86 Mio. Franken.

**Tabelle 20: Voraussichtliche Investitionskosten**

[in Mio. Franken]		Bruttokosten	Netto-Kosten (nach Abzug Mitfinanzierung Agglomerationsprogramm)
<u>Beschaffungs-Szenario gemäss Strategie</u>			
101	Investitionskosten für die Einführung von E-Bus OCC ⑩	20.78	17.13
102	Investitionskosten für die Umrüstung der Trolleybusse der Linie 1 auf IMC ⑨	1.68	1.67
110	Total Investitionskosten	22.46	18.80
<u>Backupbeschaffung (unveränderte Traktion)</u>			
201	Alternative Investitionskosten Backupbeschaffung Dieselbusse ❶	14.84	14.84
202	Ergänzungsinvestitionen Trolleybus	0.02	0.02
210	Total Investitionskosten	14.86	14.86

## 6.2 Voraussichtliche Betriebskosten

Nach den Kalkulationen liegen die Betriebskosten für die neuen Traktionsarten unter den heutigen Werten.

**Tabelle 21: Voraussichtliche Betriebskosten**

Bus-Typ	Betriebskosten [Fr./km]
⑩ E-Bus OCC auf Linie 3 (Details siehe Kapitel 3.2.2)	8.37
❶ Dieselbus heute auf Line 3 (Detail siehe Kapitel 3.2.2)	8.50
⑨ Trolleybusse IMC auf der Linie 1 (Details siehe Kapitel 3.2.3)	11.29
Trolleybus heute auf der Linie 1	11.42

## 6.3 Voraussichtliche Auswirkungen auf die Abgeltungen

Die Abgeltungen für die ungedeckten Kosten des öffentlichen Verkehrs werden – basierend auf den kalkulierten Betriebskosten (vergleiche Kapitel 6.2) – nicht ansteigen, sondern sinken.

## 6.4 Planungskosten

Für die Planung und die Submission wird ein starkes Team zusammengestellt, bestehend aus internen und externen fachspezifischen Experten. Die Experten haben hierbei nicht nur eine beratende Funktion sondern arbeiten direkt an den jeweiligen Teilprojekten.

Folgende externe Teammitglieder sind noch zu beauftragen:

- Experte für öffentliche Beschaffungen (OCC, IMC, Backupbeschaffung Dieselbusse, Infrastrukturbau)
- Unterstützender Ingenieur Pflichtenheft (OCC, IMC, Backupbeschaffung Dieselbusse)
- Bauherren-Unterstützung Depot Ebnet
- Vorplaner Depot Ebnet

- Bauherren-Unterstützung Schnellladestation Bahnhof Schaffhausen
- Vorplaner Schnellladestation Bahnhof Schaffhausen

Für die externe Unterstützung der Submission(en) und der Planung wird ein Planungskredit über 630'000 Franken benötigt.

**Tabelle 22: Kostenübersicht der Planung**

Planung und Durchführung Submission in Franken		Franken
1	Durchführung Submission E-Busse OCC inklusive Schnellladestationen Bahnhof und Ladestation Depot Ebnet	200'000
2	Durchführung Submission Traktionsbatterie Trolleybusse IMC	2'000
3	Durchführung Submission Backupbeschaffung Dieselsebusse	48'000
4	Planung und Vorbereitung Submission(en) Erweiterung Depot Ebnet (Kostenschätzung, Pflichtenheft etc.)	248'000
5	Planung und Vorbereitung Submission(en) Schnellladestationen am Bahnhof Schaffhausen (Kostenschätzung, Pflichtenheft etc.)	130'000
<b>Total Kosten Planung und Durchführung Submission in Franken</b>		<b>630'000</b>

## 7. Verfahren und Zuständigkeiten

### 7.1 Vorbesprechung in Verwaltungskommission

Diese Vorlage wurde in der Verwaltungskommission der VBSH an den Sitzungen vom 27. März, 5. April und 24. April 2017 vorbereitet.

Die Verwaltungskommission unterstützt die vorliegende Strategie und empfiehlt dem Grossen Stadtrat die Zustimmung zur Vorlage.

### 7.2 Haltung Gemeinderat Neuhausen am Rheinflall

Die vorliegende Vorlage wurde mit dem Gemeinderat von Neuhausen am Rheinflall vorbesprochen.

Der Gemeinderat unterstützt die vorliegende Strategie, insbesondere auch die Umrüstung der Trolleybusse auf das System IMC, womit die Betriebskosten gesenkt werden und ein Teil der Oberleitungen abgebaut werden können.

### 7.3 Zuständigkeit Bewilligung Kredite

Die Verkehrsbetriebe Schaffhausen VBSH sind heute ein unselbstständiger Betrieb der Stadt Schaffhausen (Verwaltungsabteilung). Es gelten die verfassungsmässigen Finanzkompetenzen.

Die Planungskosten liegen mit 630'000 Franken in der abschliessenden Kompetenz des Grossen Stadtrates. Sie werden mit der vorliegenden Vorlage beantragt.

Die Bewilligung der vorgesehenen Investitionen im zweistelligen Millionenbetrag (vergleiche Kapitel 6.1) liegen deutlich über dem Schwellenwert für das obligatorische Referendum. Dasselbe gilt für die wiederkehrenden Kosten (neue Ausgaben für einen neuen Zweck). Entsprechend ist in der zweiten Phase der politischen Beratung eine Volksabstimmung vorgesehen.

Die Abgeltungen für den Ortsverkehr in der Stadt Schaffhausen und der Gemeinde Neuhausen am Rheinfluss werden sich gemäss der kalkulierten Betriebskosten nicht erhöhen. Entsprechend braucht es dazu keine neue Kreditbewilligung.

#### 7.4 Gültigkeit der Kreditbewilligung auch bei Rechtsformänderung

Für den Fall der geplanten Zusammenführung von VBSH und RVSH – und der damit verbundenen Verselbstständigung der VBSH – behalten die städtischen Kreditgenehmigungen (Verpflichtungskredite, wiederkehrende Kosten für Abgeltungen) ihre Gültigkeit.

## 8. **Würdigung**

Die vorliegende Traktionsstrategie bietet folgende Chancen (↗):

### ↗ **Ausgezeichnete Umweltfreundlichkeit**

- Elektrobusse verbrauchen deutlich weniger Energie, stossen keine Schadstoffe aus und ermöglichen dank Strom aus erneuerbaren Quellen einen CO<sub>2</sub>-neutralen Betrieb. Allein auf der Linie 3 werden die VBSH jährlich rund 1'014 Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen können.

### ↗ **Gute Wirtschaftlichkeit**

- Die Investitionen im Vergleich zu anderen Traktionsarten sind generell gering.
- Für die Investitionen in die Infrastruktur von E-Bussen kann mit einer Mitfinanzierung im Rahmen des Agglomerationsprogrammes im Umfang von rund 3 Mio. Franken durch den Bund gerechnet werden.
- Die Betriebskosten bei E-Bussen mit Schnellladesystem OCC (8.44 Fr./km) und bei E-Bussen IMC (11.29 Fr./km) sind sehr wettbewerbsfähig.
- Der Dieselpreis wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zukunft weiter ansteigen und die Rückerstattung der Dieselsteuer durch den Bund wird höchstwahrscheinlich in den nächsten Jahren gänzlich wegfallen. Hingegen wird erwartet, dass der Bund seinen Förderungsfokus auf den elektrisch betriebenen öffentlichen Verkehr legen wird.
- Durch die Umbaumöglichkeit bestehender Trolleybusse auf das IMC-System ist der Investitionsschutz gewährleistet und es ist keine ausserordentliche Abschreibung nötig.
- Durch den schrittweisen Rückbau der Fahrleitungen können Sanierungskosten eingespart werden. Heute betragen die Kosten durchschnittlich 380'000 Fr./Jahr. Nach dem Umrüsten auf das IMC System ist mit einer Kosten-Reduktion von mindestens 100'000 Fr./Jahr zu rechnen.

### ↗ **Hoher Fahrkomfort**

- Wie die Trolleybusse sind auch Elektrobusse mit Batterie sehr leise und bei vielen Fahrgästen wegen der ruckelfreien Fahrt beliebt.

### ↗ **Keine Fahrleitungen**

- Durch die E-Busse mit Schnellladesystem (OCC) kann auf Fahrleitungen verzichtet werden. Dies vereinfacht die Umsetzung (keine Einsprachen von Anwohnern) und senkt die Kosten für Bau und Unterhalt. Durch den (vorerst) partiellen Rückbau der Oberleitungen wird das Ortsbild verschönert.
- Bei der künftigen Linienplanung besteht keine Gebundenheit an Fahrleitungen.

- ↗ **Geringe Lärmemissionen in Quartieren**
  - E-Busse verursachen praktisch keine Fahrgeräusche und erhöhen damit die Lebensqualität in den Quartieren.
- ↗ **Skalierbarkeit**
  - Da sich die Ladestationen am Knotenpunkt Bahnhof Schaffhausen befinden, ist ein weiterer Ausbau auf das ganze VBSH-Netz ohne grosse Infrastrukturkosten möglich.
- ↗ **Schaffhausen wird zum innovativen Technologiestandort im Verkehrsbereich**
  - Mit dem Einsatz von E-Bussen mit Schnellladesystem gehört Schaffhausen zu den Pionieren. Dies ist auch in Übereinstimmung mit der Ambition der Wirtschaftsförderung, Schaffhausen als Verkehrs-Cluster zu positionieren.
- ↗ **Umgestaltung Bahnhofstrasse Schaffhausen**
  - Zusammen mit der Installation der neuen Ladestationen bietet sich die Modernisierung des Bushaltestellenbereichs in der Bahnhofstrasse an.

Die Traktionsstrategie birgt die aufgeführten Risiken (↘):

- ↘ **Neue Technologie mit entsprechendem Risiko von Kinderkrankheiten**

Diesem Risiko wurde grosse Beachtung geschenkt. Risikomindernd wirken:

  - Es handelt sich zwar um eine neue Technologie, sie ist allerdings bereits im Einsatz (z.B. in Genf zwischen dem Flughafen Cointrin und Carouge).
  - Der Anbieter muss für den endgültigen Zuschlag einen erfolgreichen Testbetrieb in Schaffhausen durchführen. Dieser Testbetrieb ist gleichzeitig mit den politischen Beratungen geplant, so dass Parlamentarier und Stimmbürger sich ein Bild machen können.
- ↘ **Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf Annahmen**

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf Annahmen der Preisentwicklung für Dieseltreibstoff und Strom. Treffen diese Basisannahmen nicht zu, kann sich die Wirtschaftlichkeit auch verschlechtern. Allerdings ist es auch möglich, dass sich die Annahmen als zu vorsichtig erweisen und der Förderungsfokus sich weg vom Diesel und hin zur Elektromobilität entwickelt, was sich in einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen niederschlagen würde. Die getroffenen Annahmen werden als realistisch eingestuft.
- ↘ **Risiko: Auf falsche Technologie gesetzt, E-Busse setzen sich nicht durch**

Naturgemäss birgt ein technologischer Strategieentscheid das Risiko, dass sich die Entwicklung unerwartet auf andere Technologien verschiebt und sich die Skaleneffekte nicht einstellen und bei einem späteren Technologiewechsel Umrüstkosten entstehen.

  - Der Trend zur Elektromobilität ist aktuell sowohl im ÖV als auch im Privatverkehr sehr gefestigt. Auch andere Busbetriebe in der Schweiz setzen auf den E-Bus (Beispiel Bernmobil, Genfer Verkehrsbetriebe, ZVV, BLT, BLS, St. Moritz).
  - Die Kosten für das Umrüsten der Fahrzeuge (z.B. auf reinen Batteriebetrieb) sind überschaubar.



↘ **Lebensdauer Batterie ungewiss**

Grösstes technologisches Risiko bei E-Bussen ist die Lebensdauer der sehr teuren Batterie. Diesem Risiko wurde grosse Beachtung geschenkt. Risikomindernd wirken:

→ Zur Absicherung dieses Risikos bieten die Hersteller Versicherungsmodelle an. Alternativ können auch Reservebatterien beschafft werden (in Wirtschaftlichkeit berücksichtigt).

↘ **Graue Energie der Batterie verschlechtert Öko-Bilanz bei kurzer Lebensdauer**

Bei der erwarteten Lebensdauer von acht Jahren würde die graue Energie für die Herstellung der Batterie die Ökobilanz massgeblich verschlechtern.

→ Die VBSH prüfen die Weiterverwendung der Batterien als Zwischenspeicher für eine Solargrossanlage beim Busdepot, womit die Entsorgung um weitere acht Jahre hinausgezögert werden könnte.

↘ **Geringe Reichweite des E-Busses**

Der E-Bus hat im Vergleich zum Dieselbus eine geringere Reichweite.

→ Für das Liniennetz der VBSH ist die Reichweite ausreichend. Einschränkungen bestehen bei längeren Extrafahrten (z.B. Bahnersatz).

→ Bei der Fortsetzung der Zusammenarbeit mit den RVSH, insbesondere bei der geplanten Zusammenführung, können für solche Fahrten auch die Fahrzeuge der RVSH eingesetzt werden.

Der Stadtrat und die Verwaltungskommission sind überzeugt, dass bei einer Gegenüberstellung der Chancen und Risiken die Vorteile deutlich überwiegen und empfehlen der Vorlage zuzustimmen.

Die E-Gelenkbusse mit Schnellladesystem (Opportunity Charging Conductive) weisen deutliche Vorteile gegenüber den gängigen Dieselbussen und Trolleybussen mit Diesel-Notfahrt auf. Das neue Bussystem passt zu den innovativen VBSH und zur Stadt Schaffhausen, die mit diesem Schritt ihren Beitrag an den Klimaschutz leisten und ihre ökologische Pionierrolle weiter ausbauen.

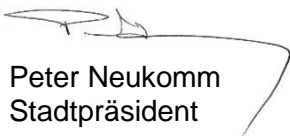
Gestützt auf vorstehende Ausführungen stellen wir Ihnen folgende

### Anträge

1. Der Grosse Stadtrat nimmt Kenntnis von der Vorlage des Stadtrates vom 2. Mai 2017 betreffend «Strategie und Planungskredit Traktionsarten der VBSH (nächste Generation Trolleybus)».
2. Der Grosse Stadtrat stimmt der Beschaffungsstrategie mit folgenden Eckwerten zu:
  - a) Teilumstellung auf E-Busse mit Schnellladesystem (OCC)
  - b) Umrüstung der bestehenden Trolleybusse mit Traktionsbatterie (IMC)
  - c) Backupbeschaffung Dieselsebusse
3. Der Grosse Stadtrat beauftragt den Stadtrat, die Ausschreibung zu den in der Vorlage genannten Eckwerten vorzunehmen und dem Grossen Stadtrat eine Investitionskreditvorlage zu unterbreiten.
4. Der Grosse Stadtrat bewilligt einen Planungskredit über 630'000 Franken zu Lasten der Investitionsrechnung der VBSH zur professionellen Vorbereitung und Begleitung der Ausschreibung sowie zur Planung der Infrastrukturarbeiten.

Freundliche Grüsse

IM NAMEN DES STADTRATES

  
Peter Neukomm  
Stadtpräsident

  
Yvonne Waldvogel-Kolb  
Stadtschreiberin i.V.