

VERKEHRSBETRIEBE SCHAFFHAUSEN

ZUKÜNFTIGE ZUSAMMENSETZUNG DER VBSH-BUSFLOTTE

Vertiefte Analyse verschiedener Antriebsarten



INFRAS

Zürich, 22. Juli 2008

ML/MK

1471E1-1_SCHLUSSBERICHT_22-07-2008.DOC

INFRAS

BINZSTRASSE 23
POSTFACH
CH-8045 ZÜRICH
t +41 44 205 95 95
f +41 44 205 95 99
ZUERICH@INFRAS.CH

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN

WWW.INFRAS.CH

INHALT

| | |
|---|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG | 3 |
| 1. EINLEITUNG | 7 |
| 2. VARIANTEN UND SYSTEMABGRENZUNG | 10 |
| 2.1. VARIANTENSPEKTRUM | 10 |
| 2.2. BETRACHTUNGSZEITRAUM, FLOTTENENTWICKLUNG | 13 |
| 3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN | 17 |
| 3.1. METHODIK | 17 |
| 3.2. ANNAHMEN ZU DEN KOSTENELEMENTEN | 19 |
| 3.2.1. Fahrzeugkosten | 19 |
| 3.2.2. Tankanlage und Anpassungen Garage/Werkstätte | 25 |
| 3.2.3. Oberleitungen | 27 |
| 3.2.4. Mehraufwendungen bei Mehrspartenbetrieb | 29 |
| 3.3. ERGEBNISSE BASISRECHNUNG | 30 |
| 3.3.1. Vergleich Investitionsbedarf | 30 |
| 3.3.2. Variantenvergleich auf Basis Nettobarwert | 31 |
| 3.3.3. Vergleich auf Basis Jahreskosten | 32 |
| 3.3.4. Sensitivitäten | 35 |
| 4. ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN | 38 |
| 4.1. METHODIK | 38 |
| 4.2. LUFTSCHADSTOFFE | 39 |
| 4.2.1. Schadstoffemissionen NO _x | 39 |
| 4.2.2. Treibhausgase (Klima) | 40 |
| 4.2.3. Gesamtemissionen: Variantenübersicht | 42 |
| 4.3. ENERGIEVERBRAUCH | 43 |
| 4.4. LÄRM | 43 |
| 5. INTERPRETATION DER ERGEBNISSE | 45 |
| 6. FOLGERUNGEN | 52 |
| ANNEX 1: ENERGIEKOSTEN UND ENERGIEVERBRAUCH | 57 |
| ANNEX 2: DETAILERGEBNISSE NETTOBARWERT | 58 |
| ANNEX 3: DETAIL JAHRESKOSTENRECHNUNG | 61 |

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgangslage und Auftrag

Die VBSH müssen spätestens im Jahr 2012 die acht Trolleybusse der Linie 1 Waldfriedhof-Herbstacker altershalber ersetzen. Im Hinblick auf diese Ersatzbeschaffung beschäftigten sich die VBSH seit einiger Zeit mit der Zukunft des Trolleybusbetriebs. Eine erste Studie¹ bezog sich bezüglich Betrachtungsperimeter auf die heutige Trolleybuslinie 1 und berücksichtigte spezifische Aspekte im Zusammenhang mit kurzfristig anstehenden Strassenbauprojekten entlang der Linienführung (u.a. Unterführung Zollstrasse sowie Aufwertungen des Strassenraums im Zentrum von Neuhausen a. Rhf.). Weil die Ergebnisse zu einer kontroversen Diskussion führten, haben der Stadtrat von Schaffhausen und der Gemeinderat von Neuhausen am Rheinfluss beschlossen, eine Ergänzungsstudie mit vertieften Abklärungen durchzuführen. Der wesentliche Unterschied zur ersten Studie liegt darin, dass die Zukunft der VBSH-Linie 1 nicht isoliert, sondern im Kontext der längerfristigen Entwicklung der gesamten VBSH-Fahrzeugflotte beurteilt werden soll.

Untersuchte Varianten

Die folgenden Varianten wurden hinsichtlich finanziellen und ökologischen Auswirkungen untersucht:

| VARIANTENSPEKTRUM ANTRIEBSARTEN GESAMTFLOTTE VBSH | |
|--|---|
| Varianten | Ausprägungen |
| 1 Trolleybusbetrieb <i>Status quo</i> ergänzt mit: 1a Dieselbus 1b CNG-Gasbus (100% CNG) 1c Biogasbus (100% Biogas) | Heutiges Trolleybusnetz (Linie 1); restliche Flotte Diesel bzw. Gas |
| 2 Trolleybusbetrieb <i>Ausbau</i> ergänzt mit: 2a Dieselbus 2b CNG-Gasbus (100% CNG) 2c Biogasbus (100% Biogas) | Heutiges Trolleybusnetz (Linie 1) plus Elektrifizierung der Linie 3 Sommerwies/Breite – Krummacker/Herblingen; restliche Flotte Diesel bzw. Gas |
| 3 Dieselbusbetrieb | Gesamtflotte mit Dieselbussen neuester Technologie (Euro5) |
| 4 Gasbusbetrieb 4a CNG-Gasbus (100% CNG) 4b Biogasbus (100% Biogas) | Gesamtflotte mit CNG- bzw. Biogasbussen |

Tabelle Z-1 Bei den Varianten mit Dieselbussen (1a, 2a und 3) wurden zusätzlich die Auswirkungen eines Hybridbuseinsatzes untersucht.

1 VBSH: Zukunft des Trolleybusbetriebs, Schlussbericht zhd. der Verwaltungskommission; INFRAS, 23. Februar 2007.

Die wichtigsten Erkenntnisse

Zusammenfassend führen die Ergebnisse zu folgenden Aussagen:

- › Der Umstieg auf eine integrale Diesel- oder Erdgasflotte ist betriebswirtschaftlich am günstigsten, bedeutet jedoch einen umweltseitigen Rückschritt, insbesondere hinsichtlich Klimapolitik. Dieser Nachteil liesse sich mit anderweitigen CO₂-Massnahmen kompensieren, wobei aus Akzeptanzgründen die Reinvestition der finanziellen Einsparungen in den ÖV-Ausbau im Vordergrund steht.

Für den Dieselbus besteht die Variante Hybridbus, welche die umweltseitigen Nachteile mindern könnte. Allerdings dürfte aus heutiger Sicht die Hybridtechnologie bis 2010, wenn der Entscheid über die Ersatzbeschaffung der acht Trolleybusse ansteht, mutmasslich noch nicht serienmässig verfügbar sein. Mit dem Entscheid für Hybridbusse würde man sich zu diesem Zeitpunkt entsprechende Risiken im Betrieb einhandeln.

- › Aus heutiger Sicht bestehen für beide Antriebsarten Diesel und Erdgas Unsicherheiten bezüglich längerfristiger Ressourcenverfügbarkeit. Die VBSH sind schon heute bezüglich Treibstoff zu 80% vom Ausland abhängig. Bei einem reinen Diesel- oder Erdgasbetrieb erhöht sich die Abhängigkeit auf 100%. Verbessert werden könnte die Situation nur mit Biogasbussen oder einem Ausbau des Trolleybusnetzes. Die Energieträger Strom und Biogas lassen sich innerhalb der Schweiz oder sogar lokal produzieren mit entsprechender Wertschöpfung vor Ort. Es ist eine Wertungsfrage, ob man die Ressourcenfrage für einen kleinen ÖV-Betrieb wie die VBSH als relevant betrachtet und entsprechende Vorkehrungen, beispielsweise mit einer Diversifizierung der Flottenzusammensetzung, trifft, oder ob man davon ausgeht, dass der öffentliche Verkehr bei Dieselknappheit (Peak oil) prioritär behandelt werden wird.
- › Die Weiterführung des Trolleybusbetriebs hat Umweltvorteile (CO₂, NO_x und Lärm). Zudem weist Strom hinsichtlich längerfristiger Versorgungssicherheit Vorteile gegenüber fossilem Diesel oder Gas auf. Dieser Vorteil ist insofern zu relativieren, als im heutigen VBSH-Netz lediglich acht von insgesamt 41 Fahrzeugen als Trolleybusse verkehren. Weiter spricht der höhere Fahrkomfort für den Trolleybus. Der wesentliche Nachteil sind die hohen Kosten. Zudem schränkt der fahrleitungsgebundene Trolleybus die Flexibilität für die Liniennetzentwicklung ein.
- › Wird das Trolleybusnetz auf eine weitere Linie ausgedehnt, verbessert sich der Umweltnutzen gegenüber der Fortführung des Status quo. Gleichzeitig verteuert sich aber das ÖV-Gesamtsystem (höhere Investitions- und Betriebskosten). Längerfristig erhöht sich bei beschränkten oder knapper werdenden Finanzmitteln der öffentlichen Hand das Risiko, dass

das Angebot nicht weiter ausgebaut bzw. im Extremfall gar zurückgefahren werden müsste. Daraus könnte ein verkehrspolitischer Zielkonflikt entstehen, weil gemäss Zielsetzung des Gesamtverkehrskonzepts der Stadt Schaffhausen und auch des Agglomerationsprogramms in den nächsten 20 Jahren die Hälfte des Gesamtverkehrswachstums auf dem ÖV stattfinden soll.

- › Den maximalen Umweltnutzen erreicht man mit einer kombinierten Flotte Trolley/Gas, jedoch nur, wenn die Gasbusse mit einem signifikanten Biogasanteil betankt werden. Diese Variante führt jedoch auch zu den höchsten Investitionskosten (Erhalt bzw. Erweiterung des Trolleybusnetzes, Gasbetankungsanlage und teurere Fahrzeuge). Und auch der Betrieb verteuert sich bei dieser Variante, weil die Treibstoffkosten bei einem hohen Biogasanteil unter heutigen Bedingungen deutlich höher sind, verglichen mit Diesel oder Erdgas.
- › Als Kompromiss im Zielkonflikt zwischen Kosten und Umwelt bietet sich der Biogasbus an, vor allem wenn man davon ausgeht, dass die Diesel- und Erdgaspreise in den nächsten Jahren weiter stark ansteigen. Allerdings stellt sich die Frage der Treibstoffverfügbarkeit für eine mit 100% Biogas betriebene Flotte. Mehr Flexibilität hat man mit der Variante Naturgas, einem Gemisch aus Bio- und Erdgas. Je höher jedoch der Erdgas-Anteil, desto schlechter wird die CO₂-Bilanz gegenüber 100%-Biogas.
- › Künftig wird sich bei allen Energieträgern die Frage der Verfügbarkeit und der Preisentwicklung stellen. Insbesondere ist davon auszugehen, dass als Folge der knapper werdenden Reserven bei den fossilen Treibstoffen die Diesel- und Erdgaspreise weiter steigen werden. Offen ist, wie schnell und wie stark dieser Preisanstieg stattfindet. Wegen den gegenseitigen Abhängigkeiten ist davon auszugehen, dass aufgrund von Substitutionseffekten auch die Strom- und Biogaspreise steigen werden. So betrachtet verliert der Energiepreis als massgebendes Kriterium für den Entscheid der Traktionsart an Bedeutung.
- › Lösungen, die zu einem temporären 3-Spartenbetrieb Trolley/Diesel/Gas führen, sind angesichts der Unternehmensgrösse aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll und deshalb für die VBSH wenig zweckmässig. Ein 3-Spartenbetrieb während ca. zehn Jahren würde bei den Varianten Trolley/Gas, bei welchen im Jahr 2012 neben den acht Trolleybussen zehn Gasbusse beschafft würden, resultieren.

Übersicht über die möglichen Varianten

Aus den obigen Erkenntnissen lassen sich drei mögliche Stossrichtungen für die Weiterentwicklung der VBSH-Flotte ableiten:

- › Umstieg auf eine reine Dieselflotte
- › Weiterbetrieb einer Mischflotte Trolley/Diesel: Fortführung Status quo oder Erweiterung Trolleybusnetz
- › Mischflotte Diesel/Biogas

Welcher Stossrichtung letztendlich der Vorzug gegeben wird, hängt von der Gewichtung der einzelnen Kriterien bzw. der Beurteilung der damit verbundenen Risiken zusammen. Die folgende Tabelle zeigt die Einschätzung der Varianten in einer Übersicht.

| FOLTENENTWICKLUNG VBSH: ÜBERSICHT VARIANTENBEURTEILUNG | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Variante | Betriebswirtschaft | Netzflexibilität | Lärm/Fahrkomfort | CO₂/KLima | Abhängigkeit/Peak oil |
| Umstieg auf reine Dieselflotte | + | + | - | 0 ¹⁾ | - |
| Fortführung Status quo Trolley/Diesel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ausbau Trolleybusnetz / restliche Flotte Diesel | - | - | + | + | + |
| Diesel/Biogasflotte | 0 | + | - | + | + (?) |

1) nur mit Kompensationsmassnahmen

Tabelle Z-2 0 = wie heute + = besser als heute - = schlechter als heute

1. EINLEITUNG

Ausgangslage und Auftrag

Die VBSH müssen spätestens im Jahr 2012 die acht Trolleybusse der Linie 1 Waldfriedhof-Herbstacker altershalber ersetzen. Im Hinblick auf diese Ersatzbeschaffung beschäftigten sich die VBSH seit einiger Zeit mit der Zukunft des Trolleybusbetriebs. Eine erste Studie² bezog sich bezüglich Betrachtungsperimeter auf die heutige Trolleybuslinie 1 und berücksichtigte spezifische Aspekte im Zusammenhang mit kurzfristig anstehenden Strassenbauprojekten entlang der Linienführung (u.a. Unterführung Zollstrasse sowie Aufwertungen des Strassenraums im Zentrum von Neuhausen a. Rhf.). Weil die Ergebnisse zu einer kontroversen Diskussion führten, haben der Stadtrat von Schaffhausen und der Gemeinderat von Neuhausen am Rheinfluss beschlossen, eine Ergänzungsstudie mit vertieften Abklärungen durchzuführen. Der wesentliche Unterschied zur ersten Studie liegt darin, dass die Zukunft der VBSH-Linie 1 nicht isoliert, sondern im Kontext der längerfristigen Entwicklung der gesamten VBSH-Fahrzeugflotte beurteilt werden soll. Gemäss Stadtrats- bzw. Gemeinderatsbeschluss sollen folgende Szenarien untersucht werden:

- › Beibehaltung und Ausbau Trolleybusnetz
- › Beibehaltung Trolleybusbetrieb heutige Linie 1, Ergänzung der VBSH-Flotte mit Hybrid- oder Gasbussen
- › Umstellung der VBSH-Busflotte auf Hybrid- oder Gasbusse (kein Trolleybusbetrieb)

Diese zweite Studie soll die nötigen Grundlagen für den Entscheidungsprozess zur anstehenden Ersatzbeschaffung der acht Trolleybusse im Jahr 2012 liefern. Weil die Fahrzeugbeschaffung ein bis zwei Jahre Vorlaufzeit benötigt, müssen die Besteller den Entscheid bereits im Jahr 2010 fällen.

Unsichere Entwicklungsperspektiven

In dieser Studie ist eine Reihe von Annahmen zu treffen. Zum einen geht es um eine Einschätzung, wie sich die bekannten Antriebstechnologien Trolley-, Diesel- und Gasbus weiter entwickeln und welche neuen Technologien wie Hybrid- oder Brennstoffzellenfahrzeuge ab wann serienmässig zum Thema werden. Die Studie konzentriert sich in erster Linie auf

² VBSH: Zukunft des Trolleybusbetriebs, Schlussbericht zhd. der Verwaltungskommission; INFRAS, 23. Februar 2007.

Technologien, die im Entscheidzeitpunkt für die Ersatzbeschaffung der acht Trolleybusse, also im Jahre 2010, mit verlässlichen Praxiserfahrungen verfügbar sind.

Ein zweites unsicheres Feld betrifft die Entwicklung der Ressourcenverfügbarkeit und damit verbunden der Preise der Energieträger Strom, Diesel und Gas. Vor allem zu den fossilen Energieträgern bestehen unterschiedliche Einschätzungen und Prognosen, wie lange die Ölreserven noch ausreichen. Nicht deren Endlichkeit an sich ist der Streitpunkt, vielmehr die Frage, für wie lange die Ölreserven noch ausreichen. Die internationale Energieagentur (IEA) ist optimistisch und sieht das Angebot für die nächsten 25 Jahre noch ungefährdet. Völlig anders sehen es beispielsweise Experten der deutschen Beratungsfirma Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, die das Fördermaximum in den meisten Ländern heute schon erreicht sehen und deshalb schon bald mit einer markanten Abnahme der Förderraten rechnen. Aus heutiger Sicht scheint klar, dass der Ölpreis als Folge verschiedener Faktoren wie weltweit zunehmende Nachfrage v.a. in Asien, zunehmender Förderaufwand, politische Instabilitäten u.a. weiter ansteigen wird. Ein stark steigender Dieselpreis wird zwangsläufig Auswirkungen auf alternative Energieträger haben. Die Nachfrage nach Strom dürfte ebenfalls zunehmen und folglich den Strompreis in die Höhe treiben. Aktuelle Energieperspektiven des Bundes prognostizieren denn auch für die Elektrizität Versorgungsengpässe, die unter anderem auf auslaufende langfristige Importverträge und die begrenzte Lebensdauer der Kernkraftwerke zurückzuführen sind. Künftig wird sich somit bei allen Energieträgern die Frage der Verfügbarkeit stellen, und in der Folge wird mit höheren Energiepreisen zu rechnen sein. Wie schnell, um wie viel und wie sich die Relationen zwischen den Energieträgern verändern, ist heute kaum verlässlich vorauszusagen. Für die Entscheidungsräume kann davon ausgegangen werden, dass alle drei Energieträger Strom, Diesel und Gas verfügbar sind, alle jedoch zu höheren Preisen.

Aufbau der Studie und Grundlagen

Als Basis für die Evaluation verschiedener Antriebsarten werden Varianten zur Zusammensetzung der gesamten VBSH-Flotte definiert. In einem ersten Schritt werden die Varianten hinsichtlich ihrer finanziellen Auswirkungen untersucht. In einem zweiten Schritt werden die ökologischen Unterschiede aufgezeigt. Abschliessend werden die Ergebnisse interpretiert, wobei zusätzlich zu den quantitativen ökonomischen und ökologischen Analysen auch rein qualitative Aspekte wie Auswirkungen auf die Liniennetzentwicklung, Akzeptanz/Image, Komfort etc. herangezogen werden.

Die zutreffenden Annahmen in dieser Studie basieren einerseits auf den heutigen Strukturen der VBSH, andererseits auf der aktuellen Studie von Stadtbus Winterthur³, die basierend auf dem neusten Technologiestand verschiedene Antriebsarten vergleicht. Teilweise werden auch Erkenntnisse aus ähnlichen Studien für die Städte Basel⁴ und Bern⁵ herangezogen. Als Grundlage für die Beurteilung der Auswirkungen möglicher Angebotsentwicklungen dient die Liniennetzentwicklungsstudie der VBSH.⁶

Begleitung durch einen Beirat

Die Studie wurde durch einen Beirat begleitet mit folgenden Vertretungen:

- › Stadtrat Schaffhausen:
 - › Marcel Wenger, Stadtpräsident
 - › Veronika Heller, Stadträtin, Referentin VBSH
 - › Urs Hunziker, Stadtrat, VK-Mitglied VBSH
- › Gemeinderat Neuhausen:
 - › Dr. Stephan Rawyler, Gemeindepräsident
 - › Patrick Strasser, Gemeinderat, VK-Mitglied VBSH
- › Experte: Hans-Peter Schär, Direktor Verkehrsbetriebe Zürich
- › Gaswirtschaft: Roger Brüttsch, Leiter Geschäftsbereich Gas-/Wasserwerk der Städt. Werke
- › TrolleyMotion: Dipl. Ing. Horst Schaffer, Zürich
- › VBSH:
 - › Walter Herrmann, Direktor
 - › Peter Leu, Technischer Leiter
- › INFRAS:
 - › Mario Keller
 - › Matthias Lebküchner

3 Quelle: Stadtbus Winterthur/INFRAS/EMPA: Systementscheid Antriebkonzept SBW, Grundlagenbericht, 16. Januar 2008.

4 Wirtschafts- und Sozialdepartement des Kantons Basel-Stadt: Diesel-, Gas- oder Trolleybus?; Schlussbericht vom 20. Februar 2006, INFRAS

5 AVUL, BernMobil, AÖV, WEA, BECO, EWB, Gas- oder Dieselbusse ?, Ergänzende Grundlagen für den Beschaffungentscheid von BernMobil, Schlussbericht, 3. Juni 2005, INFRAS

6 Stadt Schaffhausen, Gemeinde Neuhausen a. Rhf., VBSH: Studie zur Liniennetzentwicklung VBSH, Schlussbericht vom 17. Dezember 2007

2. VARIANTEN UND SYSTEMABGRENZUNG

2.1. VARIANTENSPEKTRUM

Variantenspektrum Basisrechnung

Gemäss Beschluss des Beirates werden folgende Antriebsvarianten untersucht:

| VARIANTENSPEKTRUM ANTRIEBSARTEN GESAMTFLOTTE VBSH | |
|--|---|
| Varianten | Ausprägungen |
| 1 Trolleybusbetrieb <i>Status quo</i> ergänzt mit: 1a Dieselbus 1b CNG-Gasbus (100% CNG) 1c Biogasbus (100% Biogas) | Heutiges Trolleybusnetz (Linie 1); restliche Flotte Diesel bzw. Gas |
| 2 Trolleybusbetrieb <i>Ausbau</i> ergänzt mit: 2a Dieselbus 2b CNG-Gasbus (100% CNG) 2c Biogasbus (100% Biogas) | Heutiges Trolleybusnetz (Linie 1) plus Elektrifizierung der Linie 3 Sommerwies/Breite – Krummacker/Herblingen; restliche Flotte Diesel bzw. Gas |
| 3 Dieselbusbetrieb | Gesamtflotte mit Dieselbussen neuester Technologie (Euro5) |
| 4 Gasbusbetrieb 4a CNG-Gasbus (100% CNG) 4b Biogasbus (100% Biogas) | Gesamtflotte mit CNG- bzw. Biogasbussen |

Tabelle 1

Untervarianten

Zusätzlich werden folgende Untervarianten untersucht:

› Zum Dieselbus: **Hybridbus mit seriellem Antriebskonzept**⁷

Der Hybridbusantrieb ist dem Dieselbusantrieb ähnlich, weist aber vor allem folgende Vorteile auf:

- › Bessere Energieeffizienz beim Einsatz im städtischen Verkehr mit häufigen stopp-and-go-Situationen. Beim Treibstoffverbrauch werden von den Herstellern Einsparungen von 25% und mehr geltend gemacht, die aber im realen Betrieb noch nicht umgesetzt werden konnten.⁸ In dieser Studie wird deshalb vorsichtig mit einer Einsparung von 20% gerechnet.

⁷ Seriell bedeutet: Der Dieselmotor ist im Gegensatz zum Parallel-Hybridantriebssystem nicht unmittelbar in den Antriebsstrang eingebunden. Er produziert die erforderliche Energie für den Antriebsmotor ausschliesslich über einen Generator. Überschüssige Energie wird in installierten Batterien gespeichert, ebenso die beim Bremsen anfallende Energie (Rekuperation).

⁸ Quelle: Stadtbus Winterthur/INFRAS/EMPA: Systementscheid Antriebskonzept SBW, Grundlagenbericht, 16. Januar 2008.

- › Vor allem im Haltestellenbereich weniger Lärm, weil das Anfahren elektrisch und damit lärmarm (wie beim Trolleybus) erfolgt.

Nachteilig wirken sich beim Hybridbus die höheren Anschaffungs- und Unterhaltskosten aus. Bezüglich Infrastruktur bestehen keine Unterschiede.

Beim Hybridbusantrieb handelt es sich um eine neue Technologie, die bei den VBSH zu einem späteren Zeitpunkt beim Ersatz der Dieselsebusse zum Einsatz gelangen könnten. Aufgrund des aktuellen Entwicklungsstandes dürfte der Hybridbus für die Ersatzbeschaffung der sieben Trolleybusse im Jahre 2012 voraussichtlich noch nicht zur Verfügung stehen, denn der Beschaffungsentscheid ist bereits im Jahr 2010 zu fällen.

› Zum Gasbus: **Naturgasbus**

Neben dem 100% CNG- und 100% Biogasbus wird als Untervariante auch die Antriebsart mit einem Gemisch CNG/Biogas, dem sog. Naturgas, untersucht. Diese Untervariante innerhalb der Gasantriebsarten ist dann interessant, wenn die Produktion der erforderlichen Biogasmengen für einen reinen Biogasbetrieb an Grenzen stösst. Gemäss Aussagen der städtischen Werke Schaffhausen und Neuhausen am Rheinfall (StWSN) könnte dies bei einer Umstellung der gesamten VBSH-Flotte auf Biogas der Fall sein.

Nicht untersucht: Wasserstoff- bzw. Brennstoffzellenantriebe

In die Kombination von Wasserstoff-Technologie und Brennstoffzellen werden grosse Hoffnungen gesetzt, weil sie bzgl. Treibhausgasemissionen Vorteile gegenüber fossilen Treibstoffen mit sich bringen könnten. Es gibt allerdings eine Reihe von Vorbehalten, dass sich diese Hoffnung bereits kurzfristig in Realität umsetzen liesse:⁹

- › Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologie sind in ihrer Kombination zwar sehr wirksam, doch ist in beiden Bereichen noch Entwicklungsaufwand nötig, um sowohl technisch als auch kostenseitig auch nur in den Bereich der Marktnähe zu kommen.
- › Wasserstoff ist nicht eine Primärenergie, sondern ein Energieträger. Die Energie muss also zuerst hergestellt werden. Heute wird H₂ vor allem noch aus fossilen Rohstoffen produziert (Mineralöl, Erdgas, Kohle). Längerfristig kommt sinnvollerweise nur die Produktion aus regenerativer Energie (z. B. über Wasserstoffelektrolyse) in Frage, was allerdings derzeit noch äusserst kostspielig ist.
- › Die Wasserstoff-Speicherung ist eine weitere Hürde. Wasserstoff ist erst bei -252 Grad Celsius flüssig und besitzt nur eine geringe Energiedichte pro Volumen. Deshalb wird an Spei-

⁹ Quelle: Wirtschafts- und Sozialdepartement des Kantons Basel-Stadt: Diesel-, Gas- oder Trolleybus?; Schlussbericht vom 20. Februar 2006, INFRAS

cheroptionen für das Mitführen in Fahrzeugen geforscht. Das Ziel sind leichte Druckbehälter, Kryogefäße für Flüssigwasserstoff, aber auch feste Speicher auf der Basis von Metallen oder Kohlenstoffmaterialien.

- › Die Verteilung: Angedacht wird einerseits die zentrale Herstellung des Wasserstoffs und die Verteilung via Lastwagen oder Pipelines, andererseits die dezentrale Herstellung an der Tankstelle. Der Aufbau von Verteil- und Betankungsinfrastrukturen ist sehr kostspielig. Deshalb wurden auch grundlegend andere Konzepte wie etwa das on-board reforming als Möglichkeit in Betracht gezogen, wo der Treibstoff über die bisherige Verteil-Infrastruktur auf die Fahrzeuge gelangt und dort „on-board“ in Wasserstoff transformiert wird.
- › Eine wesentliche Hürde – neben dem rein technischen Entwicklungsbedarf der Wasserstoff/ Brennstoffzellen-Technologie – sind die Kosten. Entscheidend für die Serieneinführung der Brennstoffzellenfahrzeuge wird bei gleichem Benutzerkomfort die Kosten- und Infrastrukturfrage sein. Weil die Verbrennungsmotoren gleichzeitig immer weiter entwickelt werden, wird der Benchmark entsprechend höher. Die Signale, wann Brennstoffzellenfahrzeuge als Serienfahrzeuge verfügbar sein werden, sind heute vorsichtiger als noch vor wenigen Jahren, auch wenn immer wieder Prototypen vorgestellt werden.

Aufgrund dieser Ausführungen ist zu folgern, dass Brennstoffzellenbusse allenfalls als Demonstrationsprojekt in Frage kommen, im Rahmen dieser Busevaluation jedoch keine realistische Alternative darstellen.

2.2. BETRACHTUNGSZEITRAUM, FLOTTENENTWICKLUNG

Heutige Flotte

Die heutige VBSH-Flotte umfasst einen 2-Spartenbetrieb mit total 41 Fahrzeugen und setzt sich aus Trolley- und Dieselbussen zusammen. Die acht bald 20 jährigen Trolleybusse müssen in den nächsten Jahren altershalber ersetzt werden. Die neuste Dieselbusbeschaffung mit neusten Euro5-Motoren und CRT-Filtersystem erfolgte im Jahre 2007. Aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen werden somit unabhängig der gewählten Flottenpolitik bis ins Jahr 2022 Dieselbusse eingesetzt werden.

Zusätzlich zu den städtischen Bussen betreibt und wartet die VBSH auch die Fahrzeuge der Regionalen Verkehrsbetriebe Schaffhausen (RVSH). Die Regionalbusflotte umfasst 20 Dieselbusse.

| VBSH-Busflotte (Stand März 2008) | | | | |
|----------------------------------|------------------|--------|---|--------------------------|
| Antrieb | Bustyp Typ | Anzahl | Beschaffungsjahr | Ersatzjahr ¹⁾ |
| Trolley | Gelenkbus (GB) | 8 | 1991/92 | 2012 |
| Diesel | Standardbus (SB) | 10 | 1995/98 | 2012 |
| Diesel | Gelenkbus (GB) | 12 | 2001/03 | 2018 |
| Diesel | Standardbus (SB) | 4 | 2001/02 | 2018 |
| Diesel | Standardbus (SB) | 7 | 2007 | 2022 |
| Total Gelenk-Trolleybusse | | 8 | 1) Vorlauf für Ersatzbeschaffung von 1 - 2 Jahren | |
| Total Gelenk-Dieselbusse | | 12 | | |
| Total Standard-Dieselbusse | | 21 | | |
| Total Fahrzeuge | | 41 | | |

Tabelle 2

Bemerkung zur Tabelle 2:

Auf der Trolleybuslinie 1 stehen heute fahrplanmässig sechs Fahrzeuge im Einsatz. Somit stehen für den Trolleybusbetrieb zwei Reservefahrzeuge zur Verfügung. Bei der 1:1 Ersatzbeschaffung würden jedoch lediglich 7 neue Trolleybusse beschafft. Das zweite Reservefahrzeug würde als Diesel- bzw. Gas-Gelenkbus beschafft, was die Flexibilität der Fahrzeugreserve über die Gesamtflotte erhöhen würde. Im Variantenvergleich wird dies jedoch rechnerisch nicht berücksichtigt.

Flottenerneuerungsprogramm VBSH und Betrachtungszeitraum

Die Erneuerungszyklen der einzelnen Fahrzeugserien sollen auf betriebswirtschaftlichen Überlegungen abstellen. Für Trolleybusse wird dabei eine Lebensdauer von 20 Jahren und für Diesel- bzw. Hybridfahrzeuge sowie Gasbusse eine solche von 15 Jahren unterstellt (vgl. auch Kapitel 3.2.1). Damit ergeben sich **drei Beschaffungsrunden**, bis die heutige Gesamtflotte erneuert sein wird:

- › 2012: Ersatz von 8 Trolleybussen und 10 Standardbussen
- › 2018: Ersatz von 12 Gelenkbussen und 4 Standardbussen
- › 2022: Ersatz von 7 Standardbussen

Als Betrachtungszeitraum für die wirtschaftlichen Analysen werden 20 Jahre bzw. die Zeitperiode 2012 (nächste anstehende Fahrzeugbeschaffung) bis 2031 gewählt. Längere Betrachtungszeiträume machen wenig Sinn, weil die Unsicherheiten bezüglich Entwicklungen bei der Technologie sowie bei den Verfügbarkeiten und den Preisen der Energieträger immer grösser werden.

Im Folgenden sind die Flottenerneuerungsprogramme der einzelnen Varianten auf der Zeitachse dargestellt. Die Varianten 1 und 2 bedeuten auch längerfristig einen 2-Spartenbetrieb Trolley/Diesel bzw. Trolley/Gas, wobei bei den Untervarianten 1b/c und 2b/c jeweils temporär während 10 Jahren ein 3-Spartenbetrieb entsteht. Die Varianten 3 und 4 führen bereits kurzfristig zu einer einheitlichen Flotte auf Basis Diesel oder Gas.

ÜBERSICHT FLOTTENERNEUERUNGSPROGRAMM JE VARIANTE

Variante 1a Trolleybusbetrieb status quo + Dieselbus

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|-----------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Trolley |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Diesel |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 12 Diesel |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Diesel |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Diesel |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Varianten 1b/c Trolleybusbetrieb status quo + CNG/Biogasbus

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|-----------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Trolley |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Gas |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 12 Gas |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Gas |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Gas |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Variante 2a Trolleybusbetrieb Ausbau + Dieselbus

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|-----------------------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Trolley |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Diesel |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 7 Trolley 5 Diesel |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Diesel |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Diesel |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Varianten 2b/c Trolleybusbetrieb Ausbau + CNG/Biogasbus

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|--------------------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Trolley |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Gas |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 7 Trolley 5 Gas |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Gas |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Gas |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Variante 3 Dieselbus

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|-----------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Diesel |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Diesel |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 12 Diesel |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Diesel |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Diesel |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Variante 4a/b CNG/Biogas

| Bustyp | Anzahl | Beschaffung | Ersatz | Ersatzart |
|------------|--------|-------------|--------|-----------|
| Trolley GB | 8 | 1991/92 | 2012 | 8 Gas |
| Diesel AB | 10 | 1995/98 | 2012 | 10 Gas |
| Diesel GB | 12 | 2001/03 | 2018 | 12 Gas |
| Diesel AB | 4 | 2001/02 | 2018 | 4 Gas |
| Diesel AB | 7 | 2007 | 2022 | 7 Gas |

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | |

x = Ersatzbeschaffung

Figur 1

Unterstelltes Liniennetz

Für die Basisrechnung werden das heutige Liniennetz und der aktuelle Fahrplan 2008 unterstellt. Die Auswirkungen von möglichen Entwicklungen, wie sie in der Netzentwicklungsstudie VBSH¹⁰ skizziert sind, werden qualitativ beurteilt.

¹⁰ Stadt Schaffhausen, Gemeinde Neuhausen a. Rhf., VBSH: Studie zur Liniennetzentwicklung VBSH, Schlussbericht vom 17. Dezember 2007

3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

3.1. METHODIK

Varianten

Die finanziellen Auswirkungen werden quantitativ für die neun Varianten inkl. Untervarianten gemäss Kapitel 2.1 durchgeführt. Für die kritischen Annahmen werden Sensitivitätsrechnungen angestellt.

Kostenbetrachtung

Es werden zwei Arten von Kostenberechnungen durchgeführt:

› **Eine dynamische Betrachtung nach der Nettobarwert-Methode** zur Berücksichtigung aller zeitlich unterschiedlichen Zahlungsströme. Betrachtet wird eine Periode von 20 Jahren (2012-2031), wobei sämtliche finanziellen Elemente mitberücksichtigt werden, die in dieser Periode anfallen (Buchwerte bei Beginn der Periode, Investitionen oder ggf. Desinvestitionen z.B. für die Oberleitungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten, jährlich anfallende Kosten im Verlauf der Periode, Restbuchwerte am Ende der Periode etc.).

In dieser Betrachtung werden die effektiven Ersatzzeitpunkte der einzelnen Fahrzeugserien berücksichtigt (vgl. Figur 1 auf Seite 15). Entsprechend wird unterstellt, dass die Elektrifizierung der Linie 3 bei den Varianten „Trolleybusbetrieb Ausbau“ (Varianten 2a/b/c) zum Zeitpunkt der Ersatzbeschaffung für die Gelenkautobusse erfolgt, das heisst im Jahre 2018. Eine frühere Elektrifizierung der Linie 3 ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll, weil dadurch Restwerte nicht vollständig abgeschriebener Fahrzeuge die Rechnung temporär zusätzlich belasten.

› Ein genereller Traktionsvergleich auf der Basis von **Jahreskosten**. Dabei werden pro Antriebsart die eigentlichen Systemkosten verglichen, ohne Sonderaspekte wie Desinvestitionskosten Oberleitungen bei den Varianten Diesel und Gas und Folgekosten für die Fahrleitung durch Strassenbaustellen zu berücksichtigen.

Die Jahreskostenbetrachtung bezieht sich auf den Zeitschnitt 2022, den Zeitpunkt, in dem alle heutigen Serien ersetzt sind. Danach bleiben die Fahrzeugflotten der einzelnen Varianten unverändert.

› Im Variantenvergleich werden lediglich diejenigen Kostenkomponenten berücksichtigt, für die sich zwischen den Traktionsarten Unterschiede ergeben. Ziel ist es, die **Differenzkosten zwischen den Traktionsvarianten** auszuweisen (und nicht die Vollkosten je Variante). So werden etwa die Fahrerkosten, die in allen Varianten gleich sind, nicht aufgeführt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse wird jeweils der Bezug zu den Gesamtkosten (inkl. Fahrpersonalkosten, Overheadkosten etc.) hergestellt.

Die Übersicht in Tabelle 3 zeigt die betrachteten Kostenelemente, die Annahmen sind im Einzelnen in Kap. 3.2 dargestellt.

- › Bei den CO₂ emittierenden Varianten wäre es grundsätzlich denkbar, die entstehende CO₂-Belastung anderweitig zu kompensieren. Darauf wird in einem separaten Kapitel eingegangen.
- › Die Nutzenseite (=Verkehrserträge) wird als variantenneutral betrachtet (Passagiernachfrage traktionsunabhängig) und somit nicht berücksichtigt.

| TRAKTIONSVERGLEICH: BERÜCKSICHTIGTE KOSTENELEMENTE | |
|---|---|
| Fahrzeugkosten | › Anschaffungskosten › Energiekosten › Wartungs- und Unterhaltskosten |
| Garage/Werkstätte | › Investitionskosten › Betriebs- und Unterhaltskosten |
| Tankanlage | Bei Variante Gasbus: › Investitionskosten › Betriebs- und Unterhaltskosten |
| Oberleitung | › Erneuerungs- bzw. Desinvestitionskosten › Restbuchwerte der heutigen Infrastruktur › Betriebs- und Unterhaltskosten › Folgekosten durch Strassenbaustellen |
| Synergieeffekte bei Einheitsflotte | › Ersatzteillager (Material, Werkzeuge, Räumlichkeiten) › Personalkosten (Ausbildung-, Weiterbildungskosten) |

Tabelle 3

Grundlagen für die Kostenannahmen

Die Annahmen zu den jeweiligen Kostensätzen basieren einerseits auf den heutigen Kostenstrukturen der VBSH und andererseits auf den Ergebnissen der aktuellen Studie von Stadtbuss Winterthur, die verschiedene Antriebsarten mit einander vergleicht.

Für die Abschätzung der Investitionen, die für die Erweiterung des Trolleybusnetzes erforderlich sind, liegen Richtpreisofferten von Kummler+Matter AG (Oberleitung) und den Städtischen Werken Schaffhausen und Neuhausen am Rheinfall (Gleichstromversorgung) vor. Als weitere Hintergrundinformationen werden auch die Untersuchungen und Erfahrungen bei der Evaluation der Traktionssysteme in den Städten Bern und Basel herangezogen.

3.2. ANNAHMEN ZU DEN KOSTENELEMENTEN

3.2.1. FAHRZEUGKOSTEN

Anschaffungskosten

| ANSCHAFFUNGSKOSTEN UND NUTZUNGSDAUER JE FAHRZEUGTYP | | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------|------------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|
| | Trolley Gelenkbus | Diesel (Euro-5, SCRT) | | Hybrid (Euro-5) | | Gas (EEV) | |
| | | Gelenk- bus | Stan- dardbus | Gelenk- bus | Stan- dardbus | Gelenk- bus | Stan- dardbus |
| Kaufpreis [CHF] | 1'150'000 | 600'000 | 420'000 | 750'000 | 600'000 | 700'000 | 520'000 |
| Nutzungsdauer [Jahre] | 20 | 15 | | 15 | | 15 | |
| Jahresfahrleistung/Fzg. [km] | 65'000 | 65'000 | | 65'000 | | 65'000 | |

Tabelle 4 Quellen: Angaben Gelenkbusse aus Studie Stadtbus Winterthur, Angaben Standardbusse: Dieselpreis entspricht dem Preis der im 2007 von den VBSH beschafften Fahrzeuge, Hybrid- und Gas-Standardbuspreis basiert auf eigenen Annahmen.

Bemerkungen zur Nutzungsdauer:

Im Zusammenhang mit der Nutzungsdauer sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Eine lange Nutzungsdauer wirkt sich rein rechnerisch positiv auf das wirtschaftliche Ergebnis aus, weil die Beschaffungskosten auf mehrere Jahre verteilt werden. Dieser Effekt wird jedoch durch den zunehmenden Wartungsaufwand bzw. die abnehmende Verfügbarkeit bei älteren Fahrzeugen wieder kompensiert. Zudem ist zu beachten, dass aus Kundensicht der Fahrzeugkomfort bzw. das Fahrzeugdesign nicht zu unterschätzende Qualitätsfaktoren darstellen, was für Fahrzeugkonzepte mit kürzerer Nutzungsdauer spricht.

Im vorliegenden Variantenvergleich wird für die Trolleybusse mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren, für die Diesel-, Hybrid- und Gasbusse mit einer von 15 Jahren gerechnet.

Zum Vergleich: In Winterthur wird gemäss Abschreibungsvorgaben ZVV mit einer Nutzungsdauer von lediglich 16 Jahren beim Trolleybus und 14 Jahren beim Dieselpbus gerechnet.

Bemerkung zu den Trolleybus-Beschaffungskosten:

Der in Tabelle 4 unterstellte Kaufpreis gilt für einen Trolley-Gelenkbus neuerer Generation (Ein-Achs-Antrieb, vollklimatisiert, Gewicht ca. 20 t).

Bemerkung zum Dieselbus:

Beim Dieselbus wird SCRT-Technologie unterstellt, d.h. einschliesslich Dieselpartikelfilter.

Bemerkung zum Hybridbus:

Der Hybridantrieb ist in Europa eine neue Technologie. Hybridbusse werden noch nicht serienmässig hergestellt. Entsprechend bestehen wenige Erfahrungswerte. Zurzeit ist unsicher, wie hoch der Marktpreis bei einer serienmässigen Produktion effektiv liegen wird.

Die Angabe von Anschaffungskosten von 750'000 CHF für einen Gelenk-Hybridbus basiert auf der aktuellen SBW-Studie. Für den Standard-Hybridbus wird dieselbe Kostendifferenz wie beim Dieselbus (150'000 CHF) angenommen.

Bemerkung zu den Gasbus-Beschaffungskosten:

Die Kostendifferenz zu einem heute verfügbaren neuen Gelenkdieselbus wird gemäss SBW-Studie, die auf aktuellen Abklärungen mit verschiedenen Herstellern basiert, auf 100'000 CHF veranschlagt. Zum Vergleich: Der Fahrzeughersteller Volvo, Lieferant der neusten VBSH-Busse, nannte auf Anfrage im Jahr 2006 einen Mehrpreis eines Gelenk-Gasbusses gegenüber einem Euro-5-Diesलगelenkbus von 90'000 CHF.

Energieverbrauch

| ENERGIEVERBRAUCH | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| | Trolley (Strom) | Diesel | Hybrid | Gas (CNG/Biogas) |
| Gelenkbusse | 3.2 kWh/km | 62 l/100km | 50 l/100km | 65 kg/100km |
| <i>Quelle:</i> | <i>VBSH</i> | <i>VBSH</i> | <i>-20% ggü. Diesel</i> | <i>SBW-Studie</i> |
| Standardbusse | <i>Nicht relevant</i> | 48 l/100km | 39 l/100km | 55 kg/100km |
| <i>Quelle:</i> | | <i>VBSH</i> | <i>-20% ggü. Diesel</i> | <i>Eigene Annahme</i> |

Tabelle 5

Bemerkungen zum Energieverbrauch Trolleybus:

Energieverbrauch: Die angenommenen 3.2 kWh/km entsprechen dem heutigen durchschnittlichen Stromverbrauch der heute auf der Linie 1 eingesetzten, unklimateisierten Trolleybusse. Es ist davon auszugehen, dass Trolleybusse neuester Generation energieeffizientere Elektromotoren haben. Eine Klimatisierung, wie sie heute aus Kundensicht gefordert wird und bei Neubeschaffungen zum Standard wird, kompensiert diesen Effekt jedoch wieder. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Energieverbrauch der Trolleybusflotte von Stadtbus Winterthur

beträgt aktuell ebenfalls 3.2 kWh/km, wobei 50% der bestehenden Flotte Verzögerungsenergie rekuperiert.

Der Energieverbrauch lässt sich durch vermehrtes Rekuperieren senken. Aufgrund des kleinen Netzes kann in Schaffhausen wegen eines fehlenden Abnehmers, der gleichzeitig am Netz ist, nicht bzw. nur sehr beschränkt rekuperiert werden. Statt Strom ins Netz zurück zu speisen, könnte die überschüssige Energie auch in sog. Supercaps auf dem Fahrzeug gespeichert werden. Allerdings erhöht die Installation von Supercaps die Fahrzeugkosten. Entsprechend stellt sich die Frage des return on investment. Hierzu bestehen zurzeit noch keine zuverlässigen Erfahrungen.

Der Fahrzeughersteller Hess nennt für den SwissTrolley 3 einen Energieverbrauchswert von 2.7 kWh/km.¹¹ Weil der Energieverbrauch moderner Trolleybusse zurzeit kontrovers diskutiert wird, wird hierzu eine Sensitivitätsrechnung mit einem tieferen Energieverbrauch durchgeführt.

Bemerkungen zum Energieverbrauch Dieselbus:

Die heutigen Diesel-Gelenkbusse der VBSH (Euro3) weisen einen durchschnittlichen Verbrauch von 62 Liter/100 km auf. Bei den im Variantenvergleich unterstellten Euro5-Fahrzeugen ist davon auszugehen, dass der Dieserverbrauch gegenüber Euro3 tendenziell abnimmt. Wie beim Trolleybus kompensiert jedoch die Klimatisierung diesen Effekt.

Bemerkungen zum Energieverbrauch Hybridbus:

Für den Hybridbus wird ein gegenüber dem konventionellen Dieselbus reduzierter Treibstoffverbrauch von 20% angenommen. Offen ist, ob dereinst Standard-Hybridbusse verfügbar sein werden.

Bemerkungen zum Energieverbrauch Gasbus:

Die Annahmen zum Energieverbrauch mit 65 kg/km (Gelenkbus) basieren auf Herstellerangaben und Erfahrungswerten (Quelle: SBW-Studie, Feldversuch der BVB in Basel im Sommer 2006). Die Annahmen bedeuten implizit, dass der Energieverbrauch eines Gasbusses rund 35% höher ist verglichen mit einem Dieselbus. Trotzdem ist der Erdgas-Busbetrieb bezüglich CO₂-Ausstoss aufgrund des geringeren C-Gehalts des Treibstoffs nur unwesentlich schlechter (< 5%) als ein Dieselbus (vgl. Annex 1).

¹¹ Entwicklung Trolleybus-Generation SWISSTROLLEY 3, unterstützt durch BFE, Schlussbericht, Bellach 23.4.2006

Energiekosten

| ENERGIEKOSTEN (INKL. FISK. ABGABEN UND MWST.) | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Trolley (Strom) | Diesel/Hybrid | Gas-CNG | Biogas |
| Energiekosten <i>Quelle:</i> | 0.203 CHF/kWh <i>StWSN</i> | 1.464 CHF/l <i>Vgl. Annex 1</i> | 0.833 CHF/kg <i>StWSN/Annex 1</i> | 1.430 CHF/kg <i>StWSN/Annex 1</i> |
| Energiekosten/km | | | | |
| Gelenkbusse | 0.65 CHF/km | 0.91/0.73 CHF/km | 0.54 CHF/km | 0.93 CHF/km |
| Standardbusse | <i>Nicht relevant</i> | 0.70/0.57 CHF/km | 0.46 CHF/km | 0.79 CHF/km |

Tabelle 6

Bemerkungen zum Strompreis:

Der Preis für gleichgerichteten Strom des EWS (Schaffhausen) liegt heute bei 18.9 Rappen/kWh exkl. MWSt.¹² Die VBSH beziehen heute auch einen Teil des Stroms vom EKS (Neuhausen a. Rhf.). Hier liegt der Preis tiefer bei 11.2 Rappen/kWh exkl. MWSt. In diesem Preis nicht inbegriffen sind jedoch die Kosten des erforderlichen Gleichrichters. Der Gleichrichter in Neuhausen am Rheinfall wurde 1982 erstellt und ist abgeschrieben. Er muss in den nächsten Jahren ersetzt werden.

Für den Variantenvergleich wird der heutige Preis für gleichgerichteten Strom des EWS von 18.9 Rappen/kWh exkl. MWSt. unterstellt.

Bemerkungen zum Dieselpreis:

Der Dieselpreis schwankt stark, hat aber in den letzten Jahren konstant zugenommen. Für die Basisrechnung wird ein Tankstellenpreis von aktuell 2.15 CHF pro Liter unterstellt. Daraus lässt sich der Preis für die VBSH zurückrechnen (vgl. Annex 1). Die VBSH profitiert als KTU einerseits von der Rückerstattung der Mineralölsteuer. Andererseits bezahlt sie als Grosskunde auf dem Markt einen Preis, der ca. 10 Rappen unter dem jeweiligen Tankstellenpreis liegt. Es wird unterstellt, dass die Mineralölsteuer für KTU für Fahrzeuge mit Dieselpartikelfilter wie heute rückerstattet wird. In einer Schwellenwertanalyse wird später gezeigt, wie hoch der Dieselpreis sein müsste, damit der Dieselbusbetrieb gleich teuer zu stehen kommt wie der Trolley- bzw. Gasbusbetrieb.

¹² 20.1 Rappen/kWh abzüglich 6% Rabatt für VBSH. exkl. MWSt.

Bemerkungen zum Gaspreis:

Die Energiekosten basieren auf Angaben der Städtischen Werke Schaffhausen und Neuhausen am Rheinfall (StWSN.) und basieren auf aktuellen Marktpreisen.

Wartungs- und Unterhaltskosten

Als Grundlage für die Annahmen zu Unterhalts- und Wartungskosten werden die aktuellsten Ergebnisse aus der SBW-Studie herangezogen, die auf Angaben verschiedener Anbieter, Betreiber sowie vorhandener Studien basieren. Für den Kostenvergleich interessiert dabei in erster Linie die Differenz zwischen den Varianten und erst in zweiter Linie die absolute Höhe. Demzufolge werden dem Kostenvergleich folgende Werte zugrunde gelegt:

| WARTUNGSKOSTEN FÜR GELENK- UND STANDARDBUSSEE | | | | | | | |
|--|---------------|--------------------------|------|-----------------------------|------|--------------|------|
| | Trolley GB | Diesel (Euro-5, SCRT) | | Hybrid (Euro-5, seriell) | | Gas (EEV) | |
| | | GB | SB | GB | SB | GB | SB |
| Wartungskosten [CHF/km] | 0.75 | 0.62 | 0.55 | 0.75 | 0.67 | 0.73 | 0.62 |

Tabelle 7 GB = Gelenkbus, SB = Standardbus; Quelle: Angaben für Gelenkbusse basieren auf SBW-Studie; diejenigen für die Standardbusse wurden mit eigenen Annahmen abgeleitet.

Bemerkungen zu den Wartungskosten Diesel- und Trolleybus:

Die Frage der Wartungskosten wird kontrovers diskutiert: einzelne Trolley-Hersteller machen geltend, dass diese mit Dieselnissen vergleichbar oder gar noch tiefer liegen. Die Erfahrungen von SBW, aber auch der VBSH, zeigen ein anderes Bild. Die Mehrkosten beim Trolleybus lassen sich durch den höheren Anteil an wartungsintensiverer Elektronik (v.a. die Fehlerdiagnose ist bei Elektromotoren deutlich aufwändiger als bei Dieselmotoren), den Rutenanlagen mit Verschleissteilen, dem Notaggregat und den Isolationssicherheitskontrollen begründen. Bei den VBSH sind die höheren Wartungskosten u.a. auch auf das Alter der Fahrzeuge zurückzuführen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird für den Gelenktrolleybus von Wartungs- und Unterhaltskosten ausgegangen, die um 13 Rappen pro Km höher sind als jene des Gelenkdieselnisses.

Für den Standarddieselniss wird in Anlehnung an die Linienerfolgsrechnung 2005 der VBSH angenommen, dass die Unterhaltskosten rund 10% tiefer ausfallen als beim Gelenkdieselniss.

Bemerkungen zu den Wartungskosten Hybridbus:

Die Wartungskosten werden sich je nach Technologieart (z.B. seriell / parallel) und der verwendeten Fahrzeugkomponenten (Radnabenmotor, Achsen, Getriebe, Energiespeicher, Elektronik etc.) unterscheiden. Gegenüber dem Dieselbus ist zu erwarten, dass insbesondere die Energiespeicher und die Leistungselektronik die Wartungskosten massiv erhöhen, wobei auf der Seite der Bremsen vermutlich etwas weniger Kosten anfallen werden. Deshalb werden die Wartungskosten vom Gelenkhybridbus mit 75 Rappen pro Km gleich wie beim Trolleybus, jedoch klar über dem Diesel positioniert. Aussagekräftige Erfahrungswerte existieren zurzeit noch nicht.

Analog zum Dieselbus werden für den Standardhybridbus 10% tiefere Wartungskosten unterstellt.

Bemerkungen zu den Wartungskosten Gasbus:

Empirische Erfahrungen im Realbetrieb von Gasbussen im Vergleich zu Dieselbussen variieren stark: Schweizerische TU nennen Werte in der Grössenordnung von +40 Rp./km (zit. nach der Basler Studie von INFRAS). Erfahrungen aus Deutschland veranschlagen die Mehrkosten auf 14 bis 15ct (ca. 20 bis 25 Rp.), von einzelnen TU werden auch relative Werte von plus 20 bis 25% genannt (bei Diesel-Referenzkosten von etwa 70 Rp. entspräche das Mehrkosten von ca. 14-18 Rp.). Diese Vergleiche basieren oft auf Fahrzeugen, die schon einige Jahre alt sind, was der neuesten Technologieentwicklung bei den Gasbussen nicht unbedingt Rechnung trägt. Hinweise aus dem Kontext von Ausschreibungen lassen etwa halb so hohe Werte erwarten (etwa zwischen 12 und 18 Rp./km). Zudem ist offen, wie sich die Unterhalts-/Wartungs-Kosten beim Dieselbus (z.B. SCR-Technologie mit Partikelfilter) entwickeln werden, wozu noch wenig Erfahrungswerte vorliegen, weil Busse mit diesen Technologien jetzt erst auf den Markt kommen. Für diese Studie werden für den Gasbus leicht tiefere Wartungskosten als beim Trolleybus angenommen (73 Rp./km für den Gelenkgasbus und 65 Rp. für den Standardgasbus).

3.2.2. TANKANLAGE UND ANPASSUNGEN GARAGE/WERKSTÄTTE

Varianten ohne Gasbus

Bei den Varianten mit weiterhin Dieseldieselbetrieb entstehen keine zusätzlichen Kosten für die Anpassung der Betankungsanlage für Euro5-Fahrzeuge (AdBlue), denn die VBSH verfügen bereits heute über eine AdBlue-Betankung.

Varianten mit Gasbus

Hingegen ergeben sich Anpassungen bei der Tankanlage bei den Varianten mit teilweiser bzw. vollständiger Gasbusflotte. Hier wird folgendes Betankungskonzept unterstellt (gemäss Angaben StWSN):

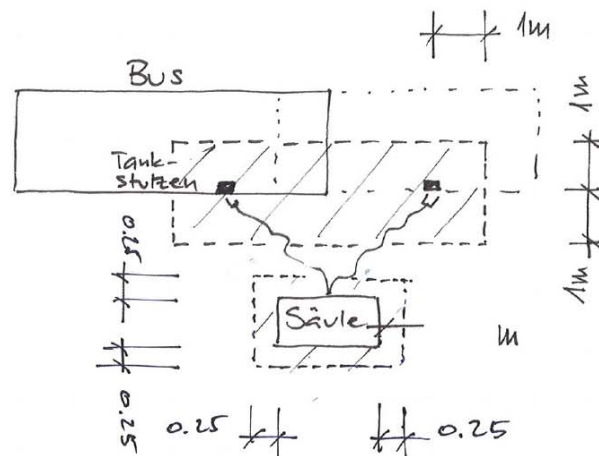
- › Schnellbetankung Indoor (Redundanz mit Säule Outdoor); Lage unmittelbar neben Standort Dieselsäule; Kompressorstation mit Speicher in Böschung gegen "impuls-Liegenschaft" untergebracht.
- › Investitionskosten Betankungsanlage (Zuleitungen Gas & Strom, Erd- und Baumeisterarbeiten, Lieferung und Inbetriebnahme Betankungsanlage): CHF 1'750'000.-
- › Investitionskosten für sicherheitstechnische Ausrüstung Indoor; im Bereich der Betankung kann eine Ex-Zone (siehe Figur 2) ohne grössere Massnahmen erreicht werden. Investitionskosten von CHF 50'000.- für Verlegung Steckdose, 2 Ex-sichere Wandleuchten, Abluftventilation an Aussenwand oberhalb Tanksäule, Gaswarnanlage gekoppelt mit automatischer Öffnung der Oblichter (Nutzung der vorhandenen Steuerung der Feuerwehr).
- › Jährliche Betriebs- und Wartungskosten Tankanlage: 0.04 CHF/kg (Angabe StWSN); für die Varianten 4a/4b mit vollständiger Umstellung auf Gasbusflotte ergeben sich somit Kosten von rund 60'000 – 70'000 CHF/Jahr.¹³

¹³ 2.7 Mio. Fahrzeug-km/Jahr à 60 kg/100km (Mix Gelenk- und Standardbusse) ⇒ Jahresverbrauch Gas von 1.6 Mio. kg.

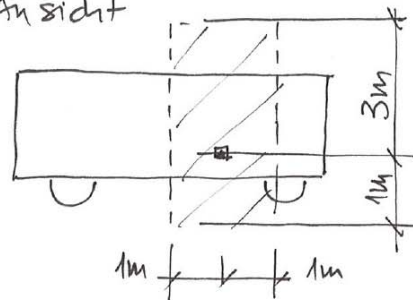
GASBETANKUNGSANLAGE: SICHERHEITSTECHNISCHE MASSNAHMEN INDOOR

Ex-zone Gasbetankung Indoor
gem. Besprechung SUVA-SVGW
05/02/2008:

Grundriss



Ansicht



Die maßgebliche Ex-zone orientiert sich an der Lage der Tankstutzen und beträgt horizontal 1m und um 5m. 3m in der Höhe.



Figur 2 Quelle Grafik: StWSN

3.2.3. OBERLEITUNGEN

Wartungskosten und Erneuerungsbedarf bestehendes Trolleynetz (*Variante Trolleybusbetrieb Status quo*)

Damit die Oberleitung für den Trolleybusbetrieb in den nächsten 20 Jahren zuverlässig betrieben werden kann, sind folgende Erneuerungsinvestitionen erforderlich:

- › Diverse **Oberleitungserneuerungs-Investitionen** (Weichen, Kreuzungen, Streckentrenner, Masten, Fahrdrabt): Im Mittel ca. 50'000 CHF/Jahr (Material und Arbeit); für die nächsten 20 Jahre resultiert damit ein Investitionsbedarf für die Erneuerung des bestehenden Fahrleitungsnetzes von total 1'000'000 CHF.
- › Neuer **Turmwagen** für Fahrleitungsunterhalt (der vorhandene Turmwagen hat seine Lebensdauer erreicht und muss im Jahr 2010 ersetzt werden) mit Beschaffungskosten von 0.8 Mio. CHF; weil der Turmwagen nicht nur Trolleybus-spezifisch eingesetzt wird, sondern auch noch weitere Zwecke erfüllt (u.a. Schleppfahrzeug, Schneeräumung), werden dem Trolleybus lediglich 75% der Investitionskosten angelastet, nämlich 600'000 CHF (Lebensdauer 20 Jahre).
- › Neue **Arbeitsbühne** für Fahrleitungsunterhalt: Beschaffungskosten 110'000 CHF, (Lebensdauer 20 Jahre).

Die **Unterhaltskosten für die Oberleitung** werden beim heutigen Netz mit 120'000 CHF/Jahr¹⁴ angenommen. Dabei nicht berücksichtigt sind baustellen- und gebäudebedingte Kosten.

Die Zahlen zu den Unterhalts- und Erneuerungskosten der Fahrleitung wurden durch eine Umfrage der VBSH bei anderen Nahverkehrsunternehmen in der Schweiz erhärtet.

Folgekosten für Fahrleitungsnetz durch Strassenbaustellen

- › Attraktivierung des Zentrums Neuhausen mit Anpassungen im Bereich Industriestrasse/Wildenstrasse/Zentralstrasse: Kosten für Anpassungen Fahrleitung von 350'000 CHF; Realisierungszeitpunkt: 2009
- › Anschlussbauwerk Galgenbucktunnel im Bereich Mühlenstrasse: Aufwand für Fahrleitungsanpassungen zurzeit unbekannt; eigene Schätzung: 500'000 CHF; Realisierungszeitpunkt: ca. 2010 - 2013.

¹⁴ Entspricht ca. 40'000 CHF Materialkosten und 600 Stunden Personalaufwand à 130 CHF/Std. (Quelle: Fahrleitungsunterhalt VBSH LER 2005 inkl. Pikett).

- › Brühlmann-Areal: Umgestaltung Knoten zur Optimierung des Verkehrsablaufes (Massnahme gemäss Agglomerationsprogramm): Aufwand für Fahrleitungsanpassungen zurzeit unbekannt; eigene Schätzung: 300'000 – 500'000 CHF;
Realisierungszeitpunkt: ca. 2012 - 2015.

Infolge von Strassenbaustellen ist somit in den nächsten 5-10 Jahren von weiteren Investitionskosten in die Fahrleitung in der Grössenordnung von 1.3 Mio. CHF auszugehen.

Investitionsbedarf für Erweiterung Trolleybusnetz (*Variante Trolleybusbetrieb Ausbau*)

Die Elektrifizierung der 8.4 km langen Linie 3 zwischen Sommerwies und Krummacher löst folgende Investitionskosten aus:

- › Oberleitungsbau: total 9 Mio. CHF inkl. MWSt., davon
 - › 4.4 Mio. CHF für Abschnitt Krummacher – Bahnhof
 - › 4.6 Mio. CHF für Abschnitt Sommerwies – Obertor

Quelle: Kostenschätzung Kummler+Matter vom 26. Juli 2007, Kostengenauigkeit +/-20%

- › Gleichrichteranlagen für die Stromversorgung mit Gleichstrom (5 Stück):
total 4.4 Mio. CHF inkl. MWSt; Quelle: Richtpreisofferte StWSN vom 9. August 2007; diese Kosten sind im angenommenen Preis für gleichgerichteten Strom von 20.3 Rp./kWh berücksichtigt.

Damit belaufen sich die Investitionskosten für die Elektrifizierung der Linie 3 inkl. Gleichstromversorgung auf total **13.4 Mio. CHF inkl. MWSt.** Die Lebensdauer dieser Investitionen wird im Mittel mit 20 Jahren angenommen.

Bezüglich Wartungskosten für das gegenüber heute fast doppelt so lange Fahrleitungsnetz werden folgende Annahmen getroffen:

- › Die Fixkosten für die Unterhaltsinfrastruktur (Turmwagen, Lagerraum) und den Pikettendienst bleiben gegenüber der Variante mit nur einer Linie unverändert.
- › Der Fahrleitungsunterhalt (Material und Personalaufwand) nimmt grundsätzlich proportional zur Erweiterung des Fahrleitungsnetzes zu (+100%). Für das erweiterte Fahrleitungsnetz von ca. 16 km Länge resultieren somit jährliche Wartungskosten von 240'000 CHF. Weil es sich bei rund der Hälfte des Netzes um eine neue Fahrleitung mit tendenziell geringerem Wartungsaufwand verglichen mit der bestehenden alten Fahrleitung der Linie 1 handelt, wird in der Kostenrechnung ein reduzierter Wert von jährlich 200'000 CHF eingesetzt.

Desinvestitionskosten bei Varianten Diesel und Gas

Bei den Varianten Diesel und Gas fallen einmalige Kosten für den Abbruch der bestehenden Oberleitung entlang der Linie 1 sowie innerhalb der VBSH-Garage an. Diese veranschlagen wir aus heutiger Sicht auf 0.5 Mio. CHF, auch wenn sich zum gegebenen Zeitpunkt allenfalls ein Interessent finden liesse, welcher den Abbau kostenlos oder sehr kostengünstig vornehmen würde. Ein Drittinteresse dürfte primär abhängig sein vom dannzumaligen Kupferpreis.

3.2.4. MEHRAUFWENDUNGEN BEI MEHRSPARTENBETRIEB

Ersatzteillager/Spezialwerkzeuge

Bei einer gemischten Fahrzeugflotte Diesel/Trolley, Diesel/Gas oder Trolley/Gas ergeben sich höhere Fixkosten bzgl. Ersatzteilgrundbedarf und Lagerraum, serienspezifische Spezialwerkzeuge und Diagnosegeräte, bauliche und Software-Anpassungen etc. In Anlehnung an die SBW- bzw. Basler-Studie wird bei einem 2-Sparten-Betrieb eine Erhöhung dieser Fixkosten von 50'000 CHF/Jahr gegenüber einer Einheitsflotte auf Basis Diesel- bzw. Gasantrieb angenommen.

Gegenüber dem Dieselbusbetrieb sind zudem für den Trolleybusbetrieb eine grössere Anzahl an teuren Ersatzteilen an Lager zunehmen, weil für diese lange Lieferzeiten auf dem Markt gelten. Diese Mehraufwendungen sind bereits in den unterstellten Anschaffungskosten und Wartungskosten berücksichtigt (vgl. Kap. 3.2.1).

Über den Zeitraum des gesamten Erneuerungsprogramms ist zudem zu berücksichtigen, dass für die Varianten 1b/c und 2b/c während 10 Jahren ein 3-Spartenbetrieb entsteht, der temporär zu einer Erhöhung der Fixkosten von ebenfalls rund 50'000 CHF/Jahr gegenüber einem 2-Spartenbetrieb führt.

Fahrpersonalkosten

Im Rahmen des Kostenvergleichs werden Zusatzkosten für Fahrpersonal beim Trolleybus vernachlässigt, die sich aufgrund der Zusatzausbildung für Trolleybus-Fahrpersonal gegenüber Diesel- bzw. Gasbus-Fahrpersonal ergibt. Diese Zusatzkosten sind vergleichsweise gering (geringer als die Unsicherheiten bei den übrigen Annahmen).

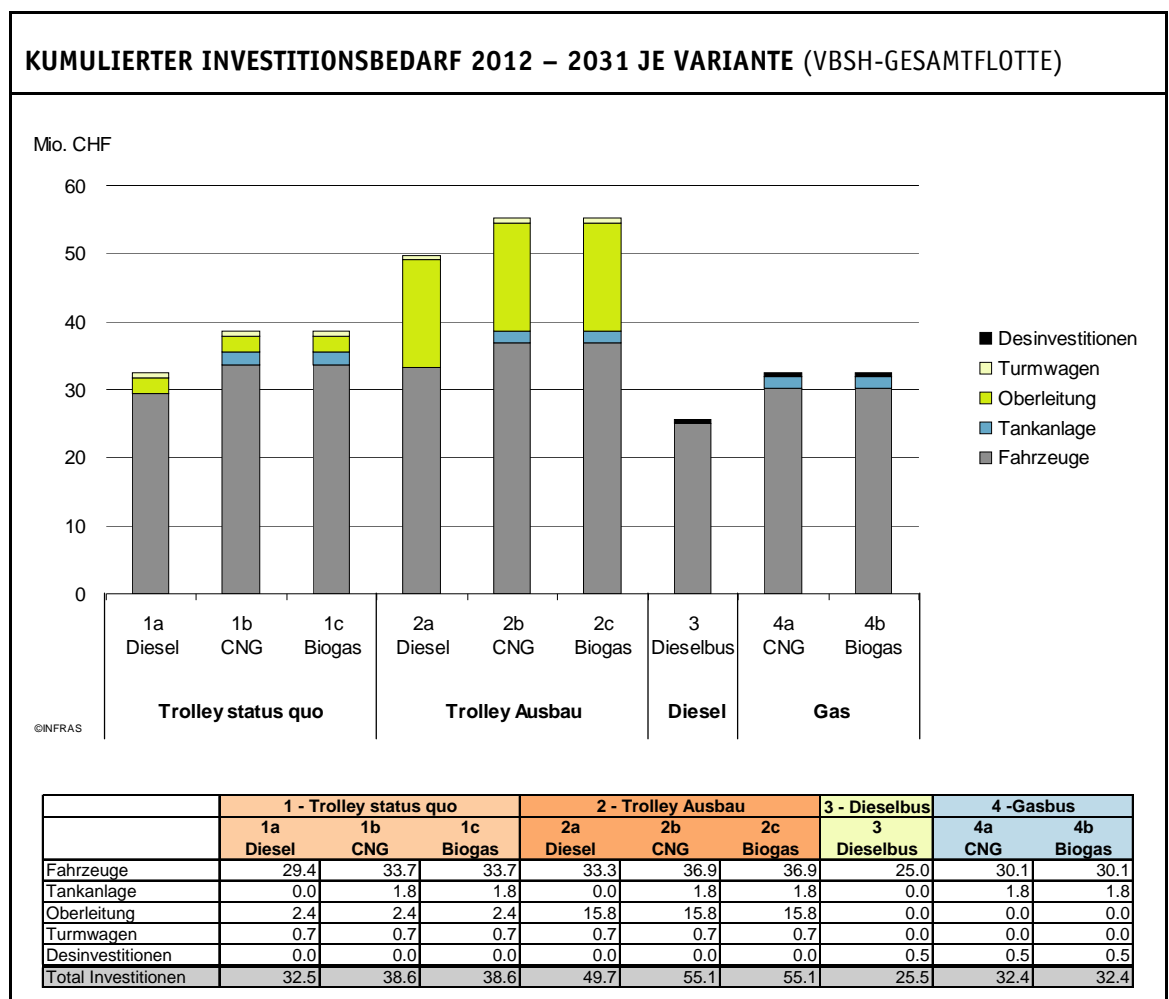
3.3. ERGEBNISSE BASISRECHNUNG

3.3.1. VERGLEICH INVESTITIONSBEDARF

Die Fortführung des status quo (Variante 1a) erfordert in den nächsten 20 Jahren Investitionen von gut 32 Mio. CHF. Knapp 30 Mio. CHF davon entfallen auf die Fahrzeugersatzbeschaffungen. Wird die heutige Dieselflotte auf Gasbusse umgestellt, fallen zusätzlichen Investitionen von 6 Mio. CHF für die teureren Fahrzeuge und die Gasbetankungsanlage an.

Die Erweiterung des Trolleynetzes auf die Linie 3 erfordert zusätzliche Investitionsmittel von 17 Mio CHF. Wird die erweiterte Trolleybusflotte mit Dieseln ergänzt, belaufen sich die kumulierten Investitionen auf 50 Mio. CHF, mit Gasbussen gar auf 55 Mio CHF.

Den geringsten Investitionsbedarf in den nächsten 20 Jahren weist die Variante 3 „Dieselbus“ mit ca. 25 Mio. CHF auf.

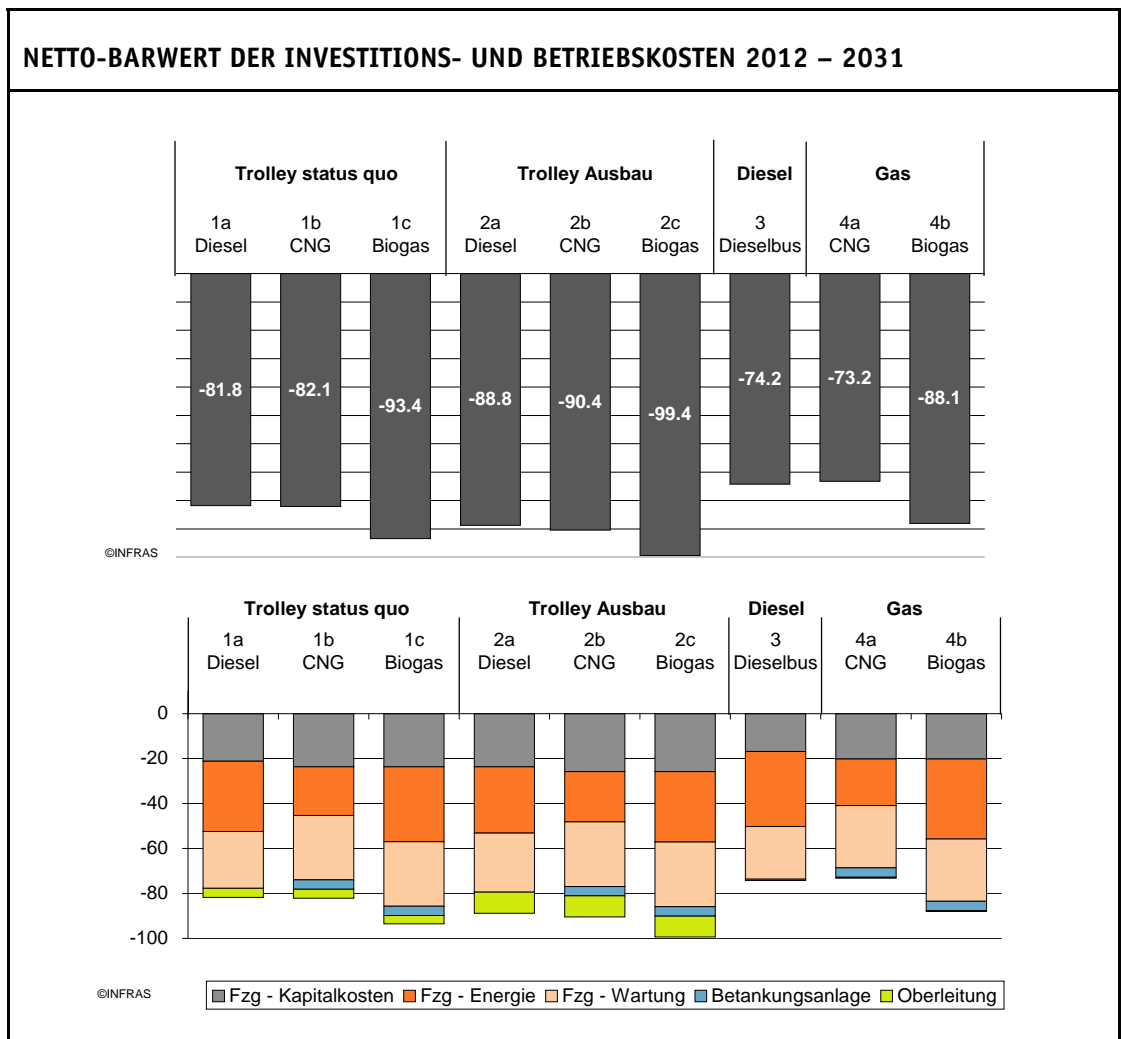


Figur 3

3.3.2. VARIANTENVERGLEICH AUF BASIS NETTOBARWERT

Die folgende Grafik zeigt die Nettobarwerte (NBW) für die verschiedenen Varianten. Dabei zeigt sich folgendes Bild:

- › Am kostengünstigsten schneiden die Varianten mit einer Umstellung auf eine reine Dieselsebus- (Var. 3) bzw. Gasbusflotte mit CNG (Var. 4a) mit einem NBW von 73-74 Mio. CHF ab. Dabei kommen der CNG-Busflotte die im Zeitpunkt der Studie tiefen Erdgaspreise zugute, welche dem Ölpreis nachhinken (vgl. Kapitel 3.3.4, Sensitivitäten).
- › Die Fortführung des heutigen Trolleybusbetriebs auf der Linie 1 ergänzt mit einer Autobusflotte, die mit Diesel oder Erdgas betrieben wird, weist einen 8 Mio. höheren NBW auf.
- › Am aufwändigsten sind die Varianten mit Biogas betriebener Fahrzeugflotte, insbesondere in Ergänzung mit einer bzw. zwei Trolleybuslinien.

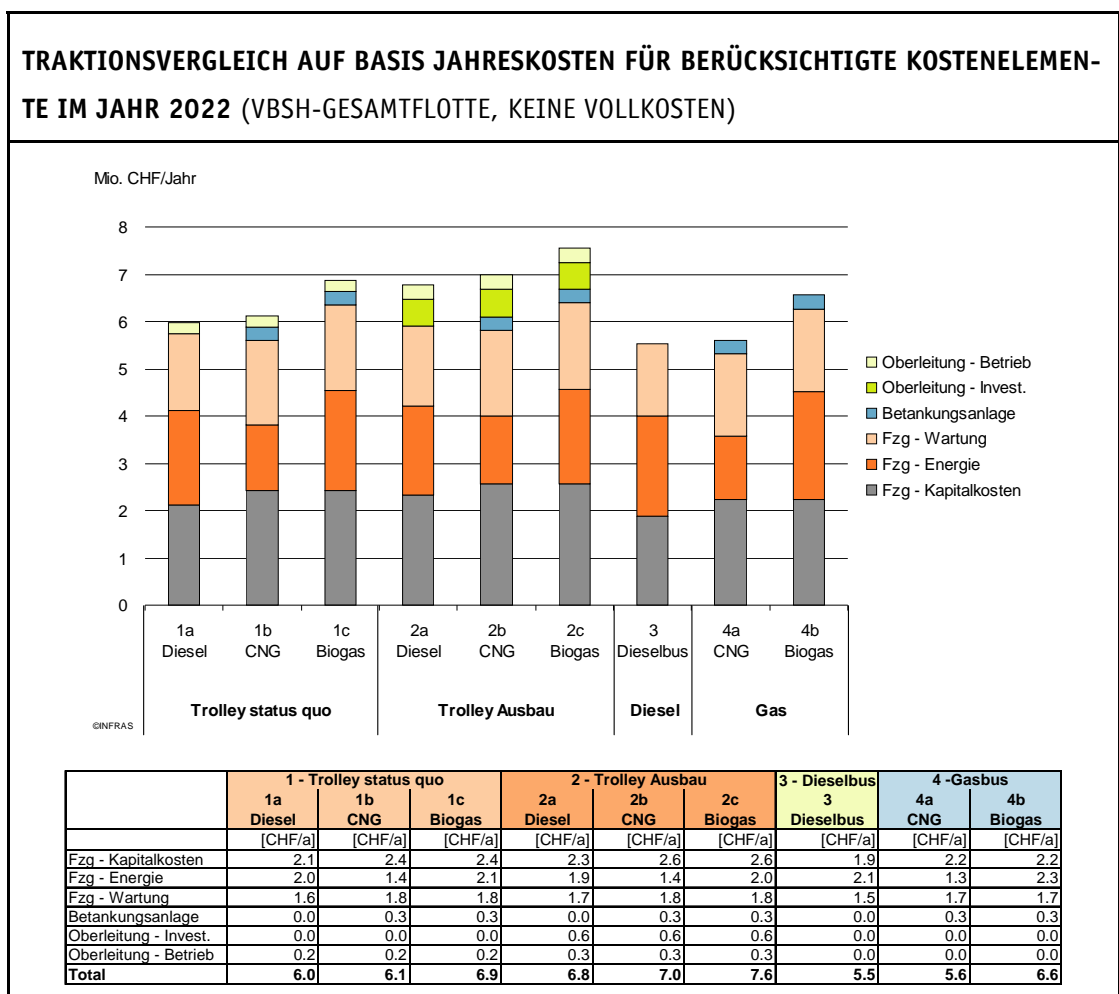


Figur 4 Die Angaben beziehen sich auf die VBSH-Gesamtflotte

3.3.3. VERGLEICH AUF BASIS JAHRESKOSTEN

Die folgende Grafik zeigt die Jahreskosten der berücksichtigten Elemente für die verschiedenen Varianten für den Zustand, bei dem alle heutigen Fahrzeugserien ersetzt sind. Dies wird im Jahre 2022 der Fall sein. Daraus lässt sich folgern:

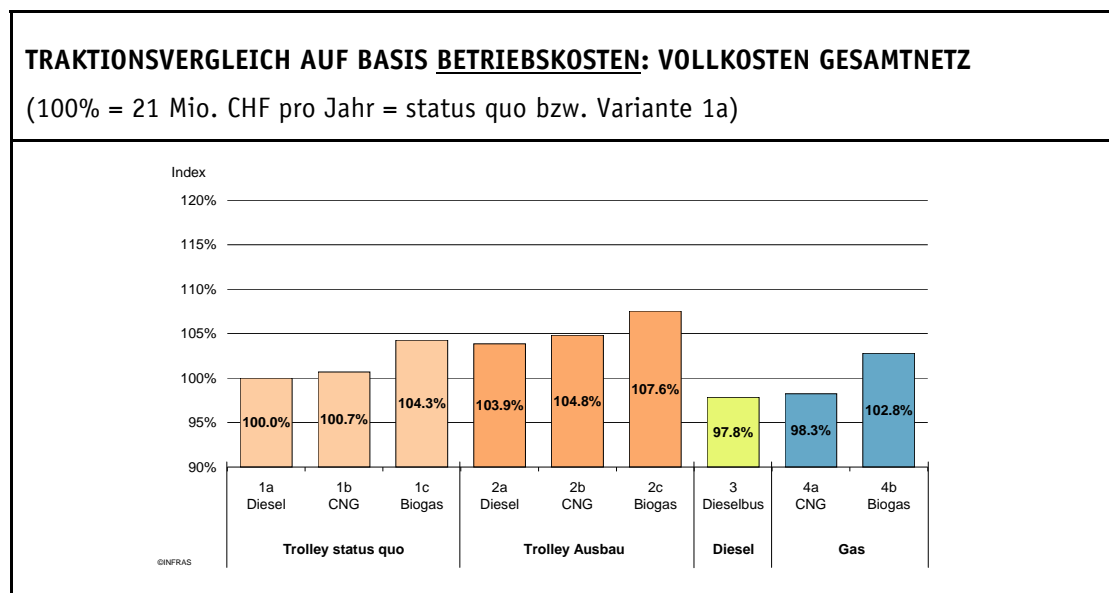
- › Die Variante mit einer reinen Dieselbusflotte ist jährlich rund 500'000 CHF günstiger als die Fortführung des heutigen Zustands mit Trolleybusbetrieb auf der Linie 1.
- › Der Ausbau des Trolleybusnetzes auf die Linie 3 löst zusätzliche Betriebskosten von knapp 1 Mio. CHF pro Jahr aus. Gegenüber einer reinen Diesel- bzw. mit Erdgas betriebener Flotte belaufen sich die jährlichen Mehrkosten auf knapp 1.5 Mio. CHF.
- › Am teuersten sind die Varianten mit einer kombinierten Flotte Trolley/Biogas.
- › Eine reine Biogasflotte (Var. 4b) ist etwas günstiger (200'000 CHF/Jahr) als die Variante mit erweitertem Trolleybusnetz ergänzt mit Dieselnissen (Var. 2a).



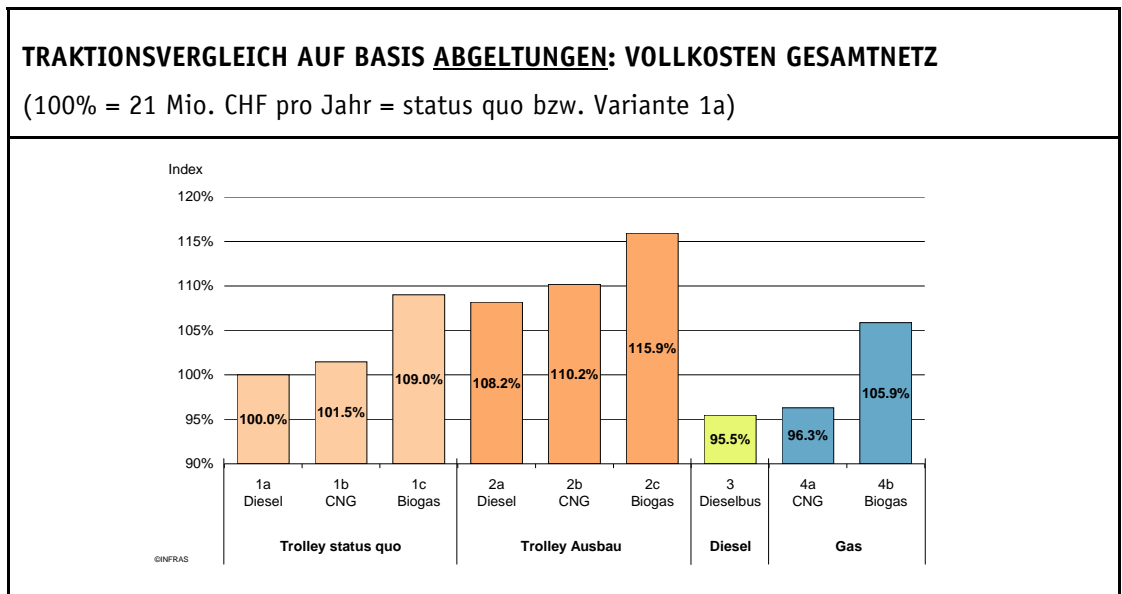
Figur 5

Die ausgewiesenen Kosten in der Figur 5 beziehen sich lediglich auf diejenigen Kostenelemente, für welche sich massgebende Unterschiede zwischen den Varianten ergeben. Stellt man diese Zahlen in Bezug zu den Gesamtkosten (inkl. Fahrpersonalkosten, Management und weitere Gemeinkosten), ergeben sich folgende Aussagen:

- › Die jährlichen Betriebskosten auf der Linie 1 sind mit dem Trolleybus 10% teurer als ein Diesel- oder Erdgasbetrieb (4.5 Mio. CHF statt 4 Mio. CHF Betriebskosten pro Jahr). Die Abgeltung der öffentlichen Hand für die Linie 1 ist mit dem Trolleybus rund 20% höher verglichen mit einem Diesel- bzw. Erdgasbetrieb (2.1 Mio. statt 2.6 Mio.).
- › Bezogen auf das gesamte VBSH-Netz bedeutet die Weiterführung des heutigen Zustands (Variante 1a) rund 2% höhere Kosten verglichen mit einem reinen Diesel- bzw. Erdgasbetrieb. Werden der heutige Trolleybusbetrieb weitergeführt und die Dieselsebusse durch mit Biogas betriebene Busse ersetzt, erhöhen sich die Gesamtkosten um 4% (von 21 Mio. auf knapp 22 Mio. CHF pro Jahr). In der gleichen Grössenordnung steigen die Kosten, wenn das Trolleybusnetz auf die Linie 3 erweitert wird und der Rest der Flotte mit Diesel- bzw. Erdgas betrieben wird.
- › Um rund 3% (von 21 Mio. auf 21.6 Mio. CHF) steigen die jährlichen Betriebskosten, wenn die gesamte Flotte inkl. der heutigen Trolleybusse auf Biogafahrzeuge umgestellt wird.



Figur 6



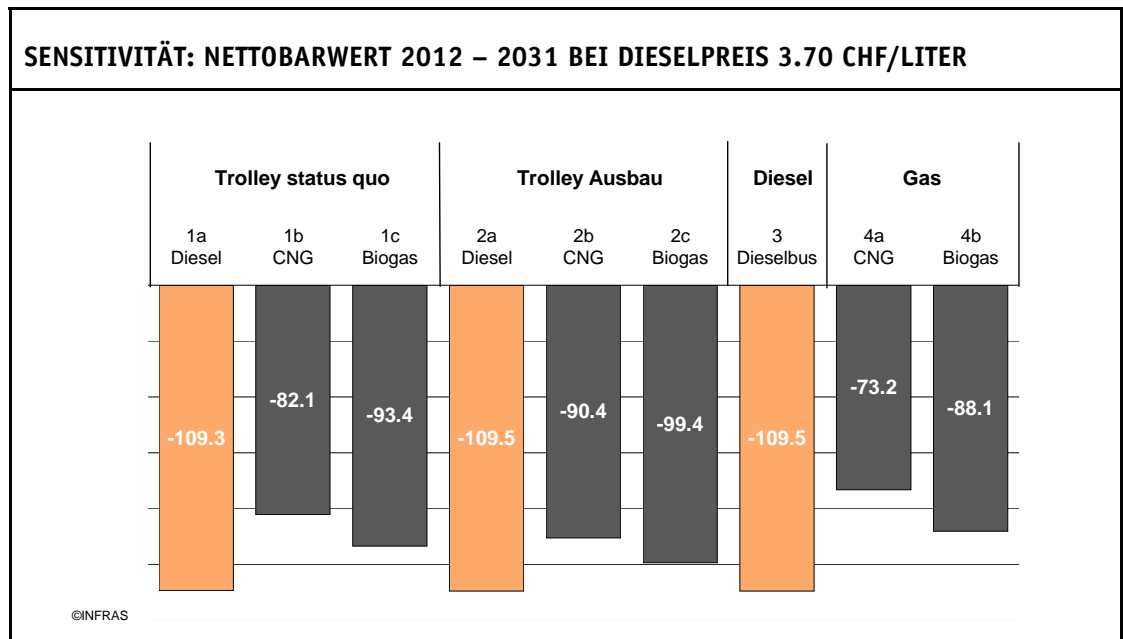
Figur 7

3.3.4. SENSITIVITÄTEN

Höherer Dieselpreis, übrige Energiepreise unverändert

Damit der Dieselbusbetrieb auf den Linien 1 und 3 mindestens so teuer zu stehen kommt wie der Trolleybusbetrieb, muss der Dieselpreis an der Tanksäule auf mindestens **3.70 CHF** pro Liter ansteigen. Dies würde einem Preisanstieg pro Barrel von aktuell 130 auf rund 370 Dollar entsprechen.

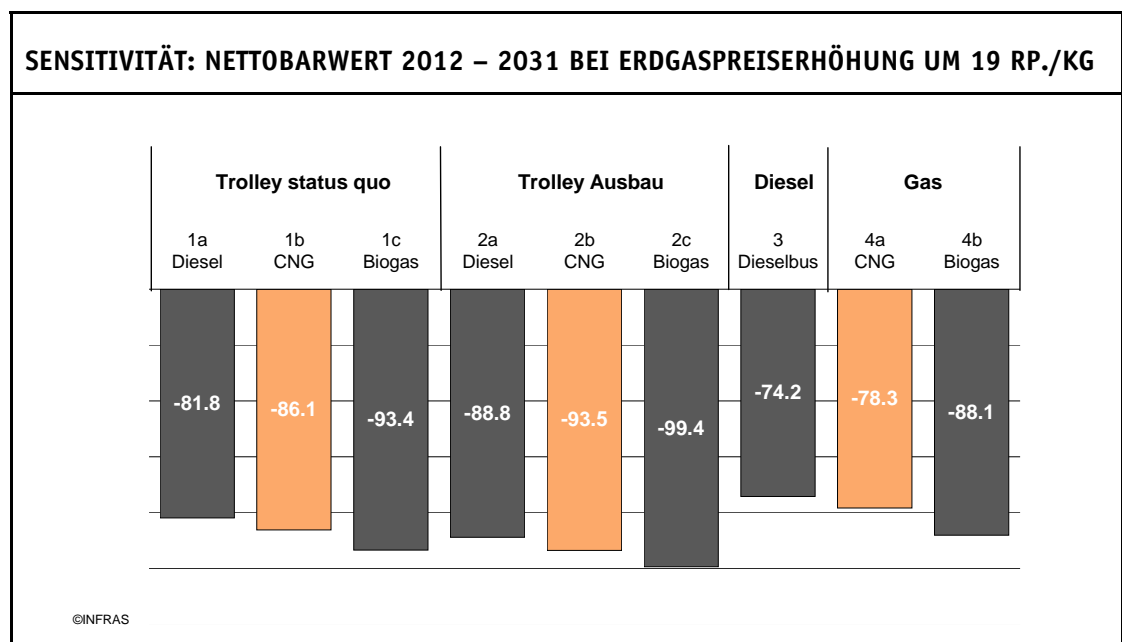
In diesem Fall schneiden sämtliche Gasbusvarianten (Gesamtflotte oder in Kombination mit Trolleybusbetrieb) günstiger ab. Weil der Erdgaspreis an den Ölpreis gekoppelt ist, ist jedoch davon auszugehen, dass sich der Erdgaspreis bei diesem Szenario ebenfalls stark erhöht, so dass in diesem Fall eine mit Biogas betriebene Fahrzeugflotte (integral oder in Ergänzung zu Trolley) wirtschaftlich interessant wird. Denn der Biogaspreis ist nicht im selben Masse an den Ölpreis gekoppelt wie das Erdgas.



Figur 8

Höherer Gaspreis

Weil der Erdgaspreis an den Heizölpreis gekoppelt ist und die Ölpreise in den letzten Monaten weiter gestiegen sind, ist davon auszugehen, dass auch der Erdgaspreis steigen wird, allerdings jeweils mit einer Verzögerung von 3 – 6 Monaten. Die Gaswirtschaft ist jedoch weiterhin bestrebt, den Preis für Erdgas als Treibstoff deutlich unter den aktuellen Benzin- und Dieselpreisen zu halten. Gemäss StWSN muss bis Ende 2008 trotzdem mit einem Preisanstieg an der Tanksäule von ca. 19 Rp./kg gegenüber dem in der Basisrechnung angenommenen Preis gerechnet werden (Erhöhung des Tanksäulenpreises inkl. MWSt. + Minöst. von ca. 1 CHF/kg auf 1.19 CHF/kg). In diesem Fall ist die Variante mit einer reinen Erdgasflotte (Var. 4a) nicht mehr die günstigste. Der Nettobarwert liegt nun ca. 4 Mio. CHF über einer reinen Dieselvariante. Und auch die kombinierten Varianten mit Trolleybus/Diesel (Var. 1a/2a) sind günstiger als die Varianten Trolley/CNG (Var. 1b/2b).



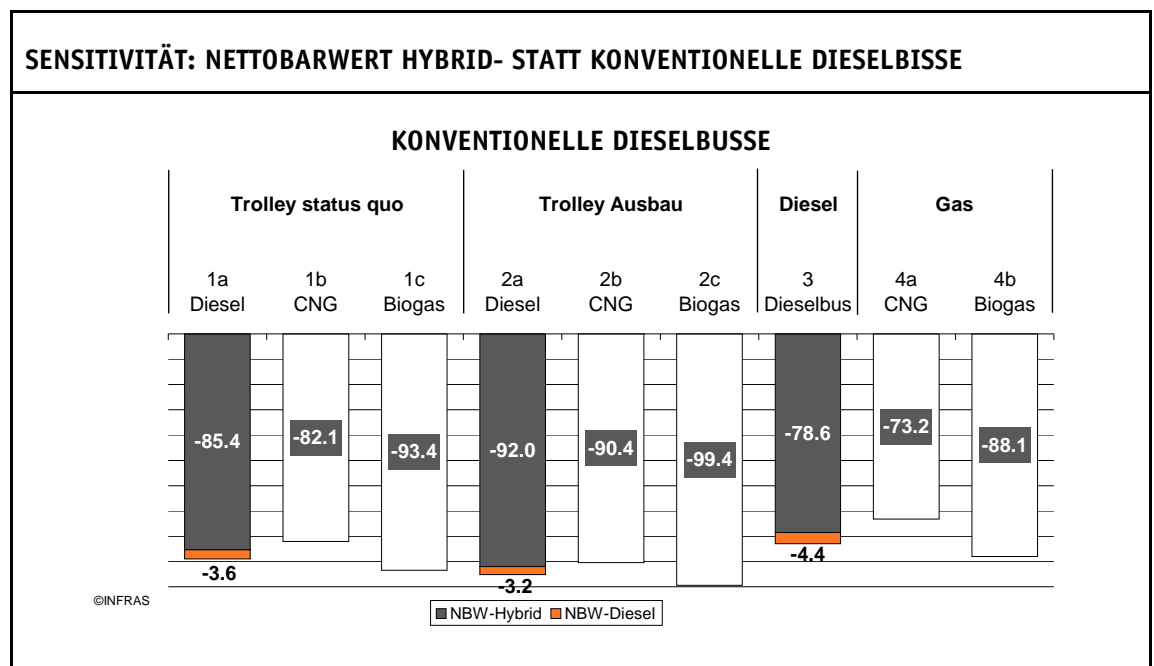
Figur 9

Geringerer Energieverbrauch Trolleybus

Kann der Energieverbrauch durch vermehrtes Rekuperieren beim Trolleybus gegenüber den angenommenen 3.2 kWh/km auf 2.7 kWh/km reduziert werden, reduzieren sich die jährlichen Betriebskosten um 50'000 CHF bei den Varianten mit Trolleybusbetrieb auf der Linie 1 und um 100'000 CHF bei den Varianten mit auf die Linie 3 erweitertem Trolleybusnetz. Folglich sinkt der Nettobarwert 2012 – 2031 um 0.8 bzw. 1.5 Mio. CHF.

Hybrid- statt Dieselbus

Werden statt konventionelle Dieselbusse Hybridfahrzeuge eingesetzt, erhöhen sich die Jahreskosten um rund 500'000 CHF bei der reinen Dieselbusvariante (Variante 3) und um ca. 350'000 bei den Kombivarianten Trolley/Diesel (Varianten 1a und 2a). Folglich steigen auch die Nettobarwerte 2012 – 2031 in der Grössenordnung von 3-4 Mio. CHF (siehe Figur 10).



Figur 10

4. ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

4.1. METHODIK

Ansatz

- › Die ökologischen Effekte werden anhand der Emissionen der verschiedenen Varianten verglichen, und zwar für den Schadstoff NO_x sowie CO_2 als das klimarelevante Gas¹⁵.
- › Der Fokus wird auf die Betriebsemissionen gelegt. Daneben werden aber auch die sog. Vorprozess-Emissionen, d.h. jene Emissionen, die bei der Produktion und Distribution der Treibstoffe bzw. des Stroms anfallen, einbezogen. Dies bedingt allerdings zusätzliche Annahmen, welche das Ergebnis direkt beeinflussen. Dazu wird auf die Angaben der sog. Ecoinvent-Datenbank abgestützt (Ecoinvent 2007).
- › Die Annahmen betreffend Emissionsfaktoren NO_x basieren auf Angaben der EMPA, wie sie der SBW-Studie zugrunde liegen. Die Zahlen weichen von den Annahmen in den bisherigen Infras-Studien für Bern, Basel, Schaffhausen vor allem bei den NO_x -Emissionen ab: Hier werden den Dieseln höheren Schadstoffwerten zugewiesen, vor allem – wie neuere Messungen zeigen – wegen geringerer Wirksamkeiten des Abgasnachbehandlungssystems bei der SCRT- Technologie (infolge tieferer Last bzw. Abgastemperatur im typischen Stadtverkehr).
- › PM-Emissionen werden nicht explizit ausgewiesen, da davon ausgegangen wird, dass alle Busse entweder mit Filtern ausgerüstet sind (Diesel) oder aber keine PM-Emissionen (Trolley) oder nur in sehr geringen Mengen ausgestossen werden (Gasbus). Ein Sonderfall sind bei Trolleybussen der Fahrleitungs- und Gleitkohleverschleiss, der jedoch für den Variantenvergleich vernachlässigt wird, weil die resultierenden Partikelemissionen deutlich weniger gesundheitsgefährdend sind als Auspuffpartikel aus Verbrennungsmotoren.
- › Die Annahmen bezüglich CO_2 werden aus den Angaben zum Treibstoffverbrauch abgeleitet (vgl. Anhang 1).

¹⁵ Zwar sind nebst CO_2 auch Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO) und Lachgas (N_2O) weitere klimarelevante Gase, aber umgerechnet in CO_2 -Äquivalente zeigt sich, dass der Anteil an CH_4 in den CO_2 -Äquivalenten vernachlässigbar klein ist (im Promille-Bereich). Ebenso vernachlässigbar klein (bzw. nahe der Messnachweisgrenze) sind die Einflüsse von CO und N_2O .

4.2. LUFTSCHADSTOFFE

4.2.1. SCHADSTOFFEMISSIONEN NO_x

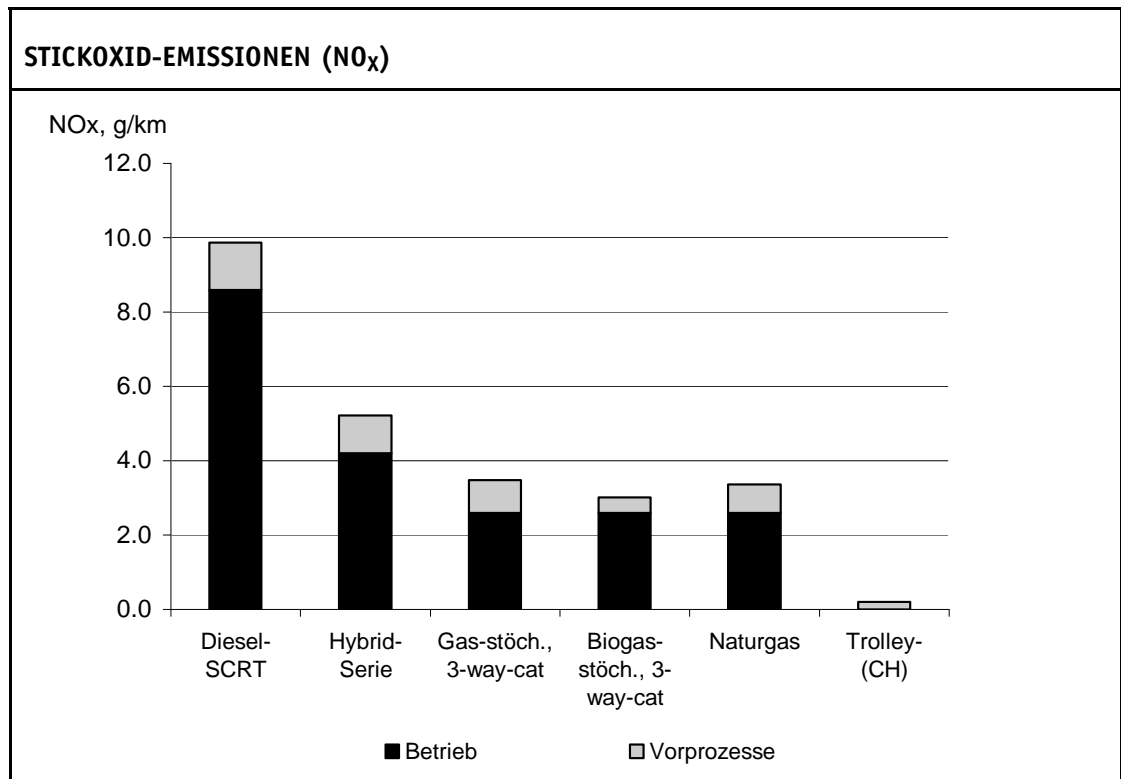
Betrieb

Der Trolleybusbetrieb emittiert im Betrieb lokal keine Emissionen. Beim Dieselbus werden mit Euro-5 die NO_x-Emissionen im Realbetrieb weniger reduziert als im Testzyklus ETC. Sie liegen somit markant höher als beim Gasbus, wenn beim Dieselbus SCRT-Technologie und beim Gasbus die stöchiometrische Variante unterstellt wird. Der Hybridbus wird etwas besser eingestuft als der Dieselbus.

Vorprozesse

Insgesamt betrachtet überwiegen beim NO_x die Betriebs-Emissionen deutlich gegenüber den Vorprozess-Emissionen (vgl. Figur 11).

Bei der Herstellung der Treibstoffe bzw. des Stroms bestehen folgende Unterschiede: Bei der Dieselherstellung werden gegenüber CNG und Biogas mehr NO_x-Emissionen emittiert. Erdgas bringt gegenüber Diesel eine Einsparung von etwa einem Drittel. Die Emissionen der Biogas-Vorprozesse liegen noch tiefer. Praktisch vernachlässigbar sind die NO_x-Vorprozess-Emissionen für Strom aus schweizerischer Produktion wie in Figur 11 unterstellt (vorwiegend aus Wasser- und Atomkraftwerken).



Figur 11 NO_x-Gesamt-Emissionen umgelegt auf einen KM eines Dieselbusses, Gasbusses (CNG, Biogas) und eines Trolleybusses (Gelenkbus). Die Gesamt-Emissionen setzen sich zusammen aus Vorprozess-Emissionen, welche bei der Her- und Bereitstellung der Treibstoffe (bzw. Elektrizität) anfallen plus Betriebs-Emissionen. Quelle: ecoinvent Centre 2007, ecoinvent data v2.0, CD-ROM, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

Die Differenz in den NO_x-Emissionen ist insofern zu relativieren, als der Ausstoss der heutigen Dieselbusflotte (33 Busse) mit rund 18 Tonnen NO_x/Jahr weniger als 4% aller durch den Verkehr produzierten NO_x-Emissionen in der Stadt Schaffhausen und der Gemeinde Neuhausen am Rheinfall ausmacht. Zudem kann man davon ausgehen, dass bei künftigen Dieselbussen (Euro-5 ff) die Technologie weiter entwickelt, die NO_x-Emissionen weiter reduziert und eine Annäherung zwischen Diesel- und Gasbus auf einem tiefen Niveau stattfinden wird.

4.2.2. TREIBHAUSGASE (KLIMA)

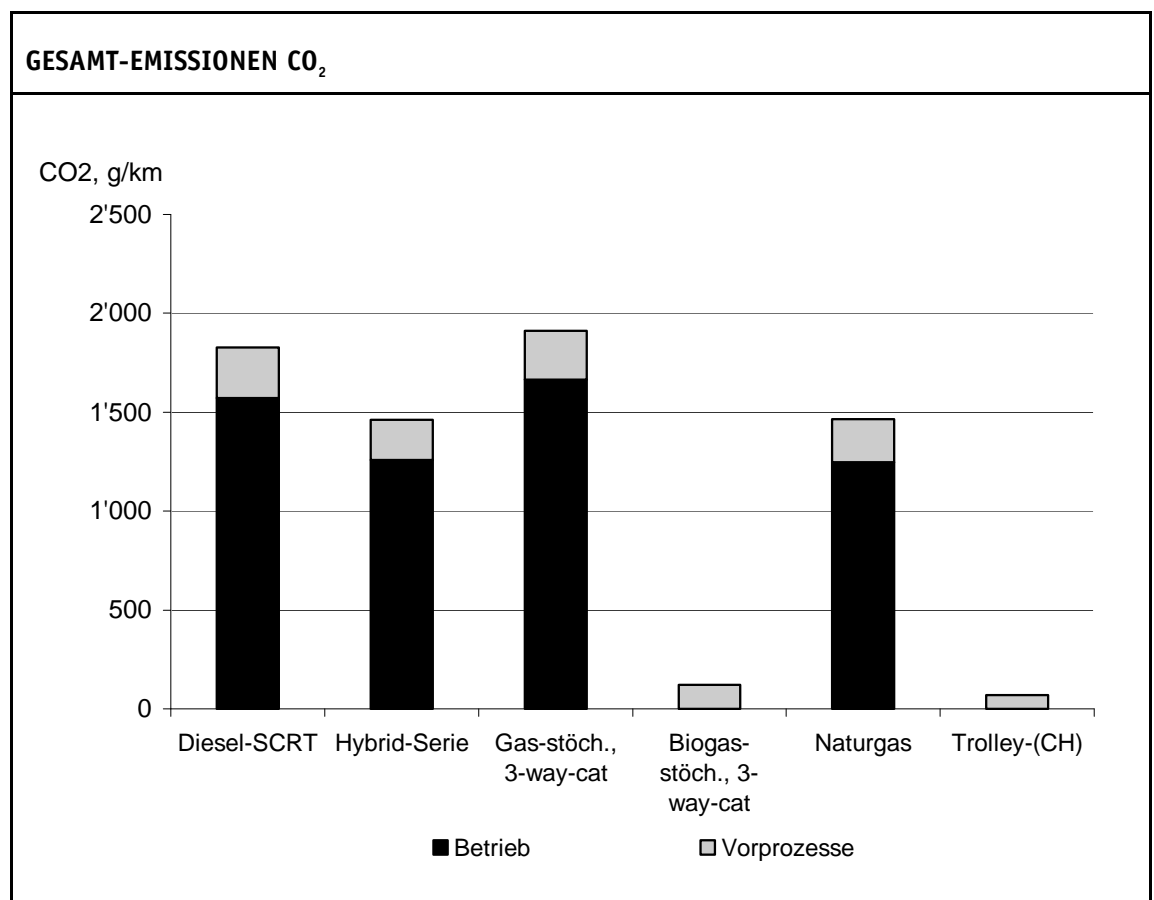
Betrieb

Insgesamt betrachtet überwiegen auch beim CO₂ die Betriebs-Emissionen deutlich gegenüber den Vorprozess-Emissionen (vgl. Figur 12). Auch beim klimarelevanten CO₂ ist der Trolleybus im Betrieb „sauber“. Beim Vergleich Dieselbus/Gasbus schneidet der Gasbus nur bei 100%-

Biogas besser ab. Beim CNG-Gasbus ergeben sich unwesentliche Unterschiede zum Diesellbus. Der energetische Mehrverbrauch wird durch den geringeren C-Gehalt von Gas zum grösseren Teil kompensiert. Der Biogas-Betrieb ist demgegenüber CO₂-neutral, weil die Verbrennung im Gas-Motor nicht mehr vom Treibhausgas CO₂ freisetzt als die für die Biogas-Herstellung verarbeiteten Pflanzen während ihres Wachstums zuvor gebunden hatten.

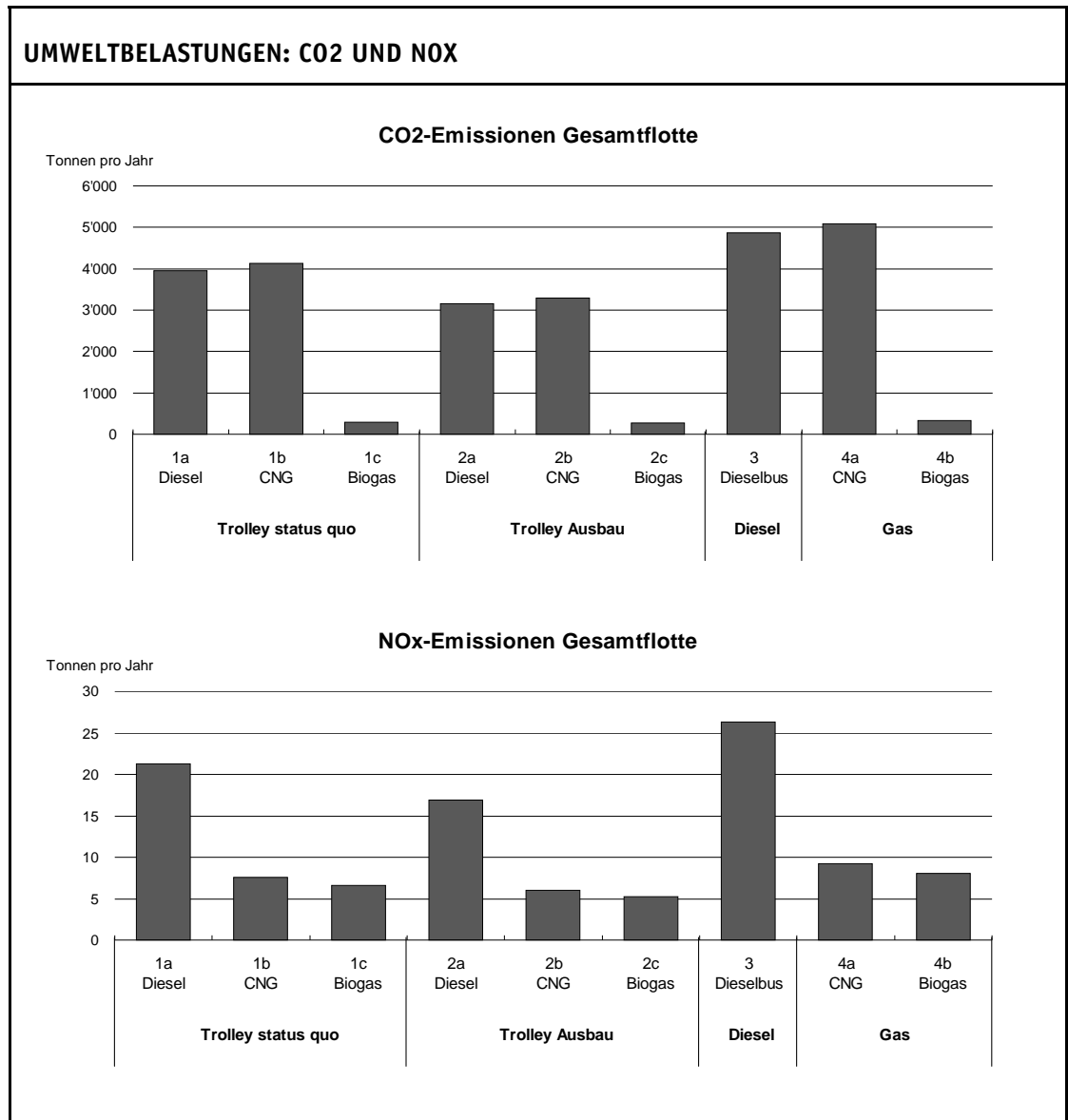
Vorprozesse

Bei den CO₂-Emissionen aus den Vorprozessen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den NO_x. Die Diesellproduktion erzeugt am meisten CO₂. Erdgas bringt gegenüber Diesel eine Reduktion von rund 20% und Biogas sogar rund 60%. Auch hier schneidet der Trolleybus am besten ab, sofern man den schweizerischen Strommix unterstellt. In diesem Fall lassen sich bei den CO₂-Emissionen gegenüber dem Diesellbusbetrieb rund 80% einsparen.



Figur 12 CO₂-Gesamt-Emissionen eines Diesellbusses, Gasbusses (CNG, Biogas) und eines Trolleybusses (Gelenkbus). Die Gesamt-Emissionen setzen sich zusammen aus Vorprozess-Emissionen, welche bei der Her- und Bereitstellung der Treibstoffe (bzw. Elektrizität) anfallen plus Betriebs-Emissionen. Quelle: ecoinvent Centre 2007, ecoinvent data v2.0, CD-ROM, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

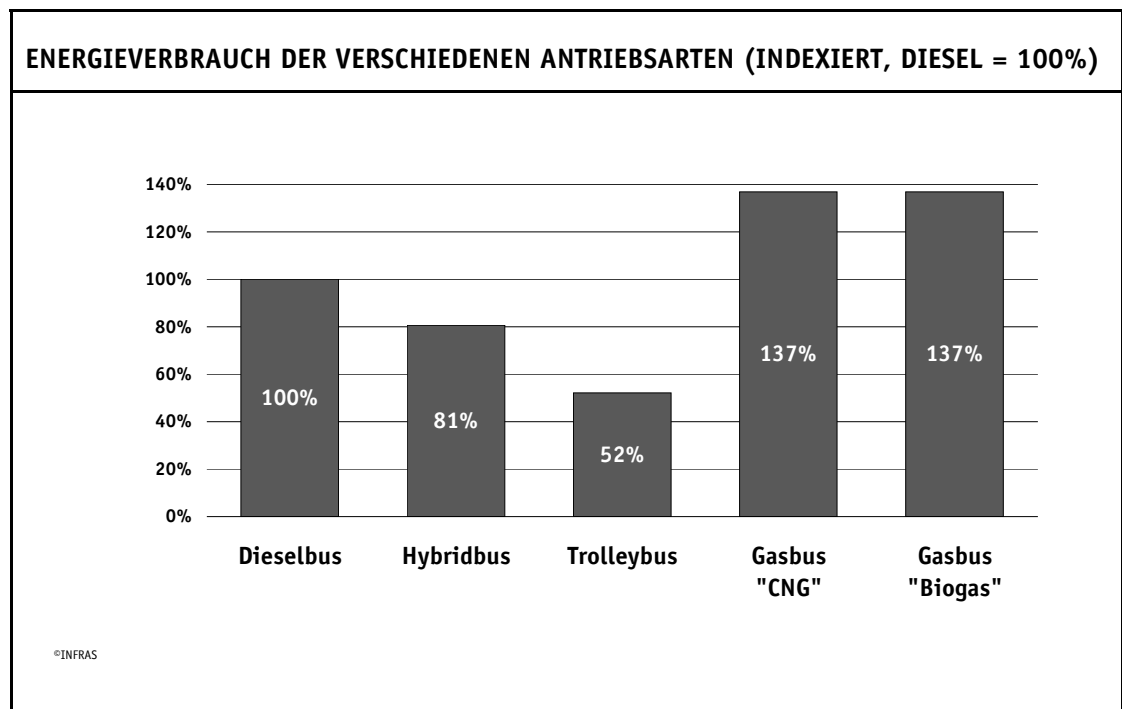
4.2.3. GESAMTEMISSIONEN: VARIANTENÜBERSICHT



Figur 13

4.3. ENERGIEVERBRAUCH

Bezüglich Energiebilanz schneidet die elektrische Traktion am besten ab. Aufgrund des schlechteren Motorenwirkungsgrads verbraucht der Dieselbus rund doppelt soviel Energie im Vergleich zum Trolleybus. Der Gasbus benötigt knapp 40% mehr Energie als der Dieselbus.



Figur 14

4.4. LÄRM

Aussenlärm

Trolleybusse erzeugen weniger Lärm als Dieselbusse. In GVF (1997) wird beispielsweise von einer Verringerung der Lärmemissionen um 55% gesprochen. In der Stadt Esslingen am Neckar wurden für Trolleybusse 9 dB tiefere Lärmwerte gemessen als für Dieselbusse.

Beim Vergleich Gas-/Dieselbusse sind die technischen Messergebnisse teilweise widersprüchlich, das Gros der Hinweise spricht moderat für Gasbusse. Eine finanzielle Einsparung, z.B. im Sinne, dass alternative Lärmschutzmassnahmen dadurch eingespart werden könnten, kann aber daraus nicht abgeleitet werden. Der positive Effekt spielt mehr auf der subjektiven Wahrnehmungsebene, was aber aus Unternehmenssicht durchaus als positives Argument gelten kann. Das wird beispielsweise durch Umfragen in Basel bestätigt, wonach der

Gasbus ein überaus positives Image hat und selbst vor dem Trolleybus rangiert. Auch Umfragen in Bern fallen für den Gasbus positiv aus.

Ein Indikator für das Lärmniveau sind Kostensätze, die im Kontext der Ermittlung von externen Kosten eruiert wurden. So werden in ARE (2004) dem Dieselbus Kostenwerte von 8.6 Rp./FzKm zugeschrieben, die mehr als 10x höher sind als jene, die dem Trolleybus attestiert werden (0.75 Rp./FzKm)¹⁶. Für Gas- oder Hybridbusse fehlen entsprechende Angaben, die Belastung dürfte aber etwas unter jenen von Dieselbussen, aber noch deutlich über dem Trolleybus liegen. Beim Hybridbus fällt vor allem positiv ins Gewicht, dass das Anfahren elektrisch und damit lärmarm erfolgt.

Innenlärm

Im Innern des Gasbusses wurden von BFE (3. Jahresbericht EnergieSchweiz 2003/04) leicht höhere Lärmimmissionen gemessen als in einem Dieselbus. Das kontrastiert allerdings mit Hinweisen aus Bern, wonach dies stark vom Ort innerhalb des Busses abhängt. Zum Trolleybus wurden keine entsprechenden Angaben gefunden, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Lärmimmissionen eines Trolleybusses auch im Innern gering ausfallen. Durch die Laufruhe des Trolleybusses entsteht ein für die Fahrgäste sehr angenehmes Fahrklima. Die Laufruhe zeigt ausserdem positiven Effekt in der Unfallstatistik: Gesamtschweizerisch gibt es je Personen-Km weniger (und weniger schwer) Verletzte im Verkehr mit Trolleybussen als im Verkehr mit Dieselbussen.

¹⁶ Man sollte die Zahlen mit einer gewissen Zurückhaltung verwenden; in jener Studie wurden 3 Kosten-Niveaus identifiziert, beispielsweise sind Trolleybus und PW gleichgesetzt (0.75 Rp./km), eine weitere Klasse sind LW, Car/Bus und Motorrad (8.6 Rp./km); dazwischen liegen Tram und Lieferwagen (2.3 Rp./km).

5. INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Die betriebswirtschaftliche Sicht

Investitionen:

- › Der Umstieg auf einen integralen Dieselbetrieb bedeutet die geringsten Investitionen. In den nächsten 20 Jahren muss ca. 7 Mio. CHF weniger investiert werden als bei der Fortführung des Status quo mit einem Trolleybusbetrieb auf der Linie 1 ergänzt mit einer Dieselbusflotte (ca. 25 Mio. CHF statt 32 Mio. CHF).
- › Die Erweiterung des Trolleybusnetzes auf eine zweite Linie erfordert gegenüber der Fortführung des Status quo 17 Mio. CHF an zusätzlichen Investitionen für teurere Fahrzeuge und für die Oberleitung.
- › Der Investitionsbedarf für eine reine Gasbusvariante liegt in derselben Grössenordnung wie die Fortführung des Status quo (ca. 32 Mio. CHF), das heisst, die Investitionen für teurere Gasbusse und für die Gasbetankungsanlage sind in etwa gleich gross wie die erforderlichen Investitionen für Trolleybusse und für die Oberleitung der Linie 1.
- › Die insgesamt grössten Investitionsmittel sind für die Varianten mit einer kombinierten Trolley-/Gasbusflotte erforderlich.

Gesamtkosten (Nettobarwert der Betriebs- und Investitionskosten):

- › Die tiefsten Gesamtkosten weisen eine reine Diesel- bzw. Erdgas-Flotte auf. Mit dem unterstellten Preis für Erdgas (0.696 CHF/kg exkl. MWST und fisk. Abgaben) sind die Differenzen der beiden Varianten sehr klein (Nettobarwert der Erdgasvariante ca. 1 Mio. tiefer als Dieselvariante). Dabei ist zu berücksichtigen, dass beim Diesel die Ölpreissteigerungen der letzten Monate berücksichtigt sind, während dies beim unterstellten Gaspreis nicht der Fall ist (siehe Kapitel 3.3.4, Sensitivitäten).
- › Die Fortführung des Status quo (Trolleybus auf der Linie 1 und restliche Flotte mit Dieselbussen) weist einen 7-8 Mio. höheren Nettobarwert über die nächsten 20 Jahre auf. Etwa gleich teuer ist die Variante mit Trolleybus auf der Linie 1 ergänzt durch eine mit Erdgas betriebene Autobusflotte.
- › Die Erweiterung des Trolleybusnetzes auf die Linie 3 führt zu einem ca. 7-8 Mio. höheren Nettobarwert verglichen mit einem auf die Linie 1 beschränkten Trolleybusbetrieb. Gegenüber einer reinen Diesel- bzw. Erdgasflotte bedeutet die Trolleybuserweiterung auf eine zweite Linie einen rund 15 Mio. CHF höheren Nettobarwert.

- › Die Varianten mit Biogas-betriebenen Fahrzeugen sind mit den unterstellten Preisrelationen jeweils am teuersten. Die Variante mit erweitertem Trolleybusnetz ergänzt durch eine Dieselflotte ist in etwa gleich teuer wie eine integrale Gasbusflotte betrieben mit 100% Biogas.
- › Der Einsatz von Hybridtechnologie erhöht den Nettobarwert 2012-2031 der Dieselflottenvarianten um 3-4 Mio. CHF.

Die ökologische Sicht

Beurteilung der einzelnen Antriebstechnologien:

- › Der Trolleybus ist bezüglich Lufthygiene und Klimaaspekten klar im Vorteil und mit Stromversorgung aus schweizerischer Produktion umweltseitig unschlagbar, denn er produziert keine lokalen Schadstoff- und CO₂-Emissionen. Auch lärmseitig hat der Trolleybus Vorteile gegenüber dem Diesel- und Gasbus.
Aus heutiger Sicht ist allerdings fraglich, ob der heutige Strommix und damit die CO₂-Neutralität längerfristig gesichert sind. Zudem ist auch der Anteil Atomstrom ökologisch nicht problemlos (v.a. Entsorgungsproblematik).
- › Schadstoffseitig hat der Gasbus vor allem bei den Stickoxiden Vorteile gegenüber dem Dieselflottenvarianten, namentlich solange die neue SCR-Technologie im Stadtverkehr noch nicht die Wirksamkeit erreicht hat, wie es die Grenzwerte bzw. die Typenprüfegergebnisse erwarten lassen würden. Der Gasbus reduziert die NO_x gegenüber dem Diesel um knapp zwei Drittel.
- › Bei den Abgas-Partikel-Emissionen bestehen faktisch keine relevanten Unterschiede zwischen Diesel und Gas, da bei Dieselflottenvarianten mit Filter-Ausstattung gerechnet wird bzw. bei Gasbussen das Emissionsniveau ausgesprochen tief ist.
- › Bezüglich CO₂-Emissionen sind der Dieselflottenvarianten und der Erdgasbus gleichwertig. Erst wenn der Gasbus mit Biogas betrieben wird, ergeben sich gegenüber dem Dieselflottenvarianten Vorteile.
- › Beim Hybridbus erwartet man eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs und somit auch des CO₂-Ausstosses von 20%. Die NO_x würden gegenüber dem Diesel praktisch halbiert, weil die Stickoxide beim Anfahren überproportional entstehen. Wenn der Hybridbus elektrisch anfährt, reduzieren sich entsprechend auch die NO_x überproportional.
- › Beim Trolleybus fallen zusätzlich Partikel aus Fahrleitungs- und Gleitkohleverschleiss an, die aber aufgrund der mechanischen Erzeugung mutmasslich nicht mit Auspuffpartikeln verglichen werden können. Die Emissionsmengen sind aber im Vergleich zu den Auspuffpartikelmengen (geschlossener Partikelfilter vorausgesetzt) höher, ein Sachverhalt, der separat vertieft werden müsste.

Gesamtflottensicht:

- › Am besten schneidet aus Umweltsicht der Flottenmix Trolleybus/Biogasbus ab, am schlechtesten eine reine Dieselflotte.
- › Eine Trolleybuserweiterung kombiniert mit Erdgasflotte stellt bezüglich NO_x eine Zwischenlösung dar. Bei Verwendung von Naturgas (Gemisch aus CNG und Biogas) verbessert sich auch die CO₂-Bilanz.

VBSH und CO₂-Neutralität

Das Postulat nach CO₂-Reduktion ist ein zentrales Element der Klimapolitik. Auch die Stadt Schaffhausen bekennt sich explizit zu ökologischem Verhalten. Ein Umstieg auf Diesel – und damit erhöhter CO₂-Ausstoss – ist deshalb unzeitgemäss und konträr zu gesetzten Zielen. Zumindest für CO₂ besteht jedoch allenfalls ein Ausweg: Weil CO₂ ein globales und nicht rein lokales Problem ist, gewinnt der CO₂-Emissionshandel als Instrument der Klimapolitik an Bedeutung. Die VBSH könnten bzw. müssten dafür sorgen, dass der busbedingte CO₂-Ausstoss bei einer Dieselvariante anderweitig kompensiert wird. Das könnte theoretisch über den Kauf von Zertifikaten erfolgen (ab 2008 ist der Emissionshandel in der Schweiz möglich). Kontrovers wird gegenwärtig vor allem debattiert, ob auch Handel mit CO₂-Zertifikaten ausländischer Projekte akzeptabel ist. Aus grundsätzlichen entwicklungspolitischen Erwägungen¹⁷, aber auch aus Gründen der Glaubwürdigkeit stünden inländische Kompensationen im Vordergrund, was faktisch heisst, dass die CO₂-Kompensation teurer zu stehen käme als es der gegenwärtige Zertifikatspreis von rund 20 €/t CO₂ signalisiert.

Die Berechnungen zeigen, dass mit einer reinen Dieselvariante knapp 500'000 CHF/Jahr gegenüber der Fortführung des Status quo eingespart werden könnte; mit der CO₂-Kompensation würden Kosten von ca. 30'000 CHF pro Jahr beim gegenwärtigen Zertifikatspreis von rund 35 CHF/t CO₂ bzw. knapp 200'000 CHF pro Jahr bei einem stark erhöhten Zertifikatspreis von rund 200 CHF/t CO₂ entstehen, so dass bei der Dieselvariante die jährlichen Einsparungen immer noch mindestens 300'000 CHF betragen würden.

Eine Reihe von Fragen bleiben hier allerdings offen: Wie und wo würden die VBSH bzw. die Stadt Schaffhausen und die Gemeinde Neuhausen diese Kompensation konkret vorneh-

¹⁷ CO₂-Kompensationen in Ländern im Süden sind zu günstigeren Preisen realisierbar sein als in den industrialisierten Ländern des Nordens, weil a) wegen Lohnunterschieden und tieferem wirtschaftlichem Entwicklungsgrad ein Kostengefälle besteht und b) bis 2012 einem grossen Markt von Anbietern ohne Reduktionsverpflichtungen nur eine begrenzte Anzahl Kyoto Unterzeichnerstaaten mit Verpflichtungen gegenüberstehen. Es ist absehbar, dass die Länder im Süden früher oder später auch in die Situation gelangen, ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren. Durch den Zertifikatehandel werden zu diesem Zeitpunkt die günstigsten Reduktionspotenziale bereits durch Länder aus dem Norden abgeschöpft sein. Hier stellt sich deshalb eine grundlegende Frage der Gerechtigkeit.

men, um glaubwürdig zu sein? Würden Zertifikate auf dem CH-Markt erstanden, oder würden z.B. konkrete Gebäudesanierungen in Schaffhausen und Neuhausen über den Busbetrieb bzw. die Kommunen finanziert? Zudem stellt sich die Frage der politischen Akzeptanz. Die Diskussion der Ergebnisse der ersten Studie vom Frühjahr 2007 hat gezeigt, dass der Ansatz CO₂-Kompensation über Zertifikate schwierig kommunizierbar ist und von der Bevölkerung kaum verstanden wird. Zielführender wäre der Ansatz einer Kompensation innerhalb des Bereichs Mobilität. Beispielsweise könnte das eingesparte Geld für ÖV-Ausbaumassnahmen eingesetzt werden und so die Verlagerung vom Auto zum ÖV mit positiver Umweltbilanz fördern. Die mit einem Dieselsebusbetrieb auf der Linie 1 eingesparten Mittel (knapp 0.5 Mio. CHF pro Jahr gegenüber dem Trolleybusbetrieb) könnten beispielsweise für folgende Angebotsverbesserungen eingesetzt werden:

- › Verdichtungen zum integralen 10-Minutentakt auf der Linie 6 zwischen Neuhausen und Schaffhausen,
- › Verdichtung des Angebots im Mühlental zum 10-Minutentakt im Zusammenhang mit den geplanten Siedlungsentwicklungen,
- › Ausbau Nachbusangebot.

Gas als Kompromisslösung?

Der Gasbus könnte eine Kompromisslösung im Spannungsfeld Ökonomie und Ökologie darstellen. Er liegt sowohl kosten- als auch umweltseitig zwischen dem Trolleybus und dem Dieselsebus. Jedoch stellt sich bei den Varianten mit Gasbussen ebenfalls die Frage der CO₂-Neutralität, weil die Bilanz von mit Erdgas betriebenen Bussen etwa jener von Dieselsebussen entspricht. In diesem Fall liesse sich CO₂-Neutralität durch Einsatz von Biogas erreichen. Dadurch könnten die VBSH das eigene Kerngeschäft CO₂-neutral abwickeln und müssten nicht – wie bei der Kompensation – auf andere Bereiche (wie z.B. Zertifikate oder Gebäudesanierungen) ausweichen. Folgende kritischen Aspekte bzw. Risiken sind beim Gasbus jedoch zu beachten:

- › Die Gastraktion bedeutet für die VBSH die Einführung einer neuen Technologie, was per se ein gewisses Risiko mit sich bringt verglichen mit den vertrauten Antriebsarten Trolleybus und Dieselsebus.
- › Der Gaspreis ist ein entscheidender Faktor. Mit dem unterstellten Gaspreis, der einem Säulenpreis von ca. 1 CHF/kg entspricht, fällt der Erdgasbusbetrieb trotz teureren Fahrzeugen und Investitionen in die Tankanlage nicht teurer aus als der Dieselsebusbetrieb. Allerdings ist der Gaspreis an den Ölpreis gekoppelt und dürfte deshalb in nächster Zeit ebenfalls

deutlich ansteigen. Im Zusammenhang mit einem Entscheid zugunsten eines Gas(teil)-betriebs wäre für die VBSH bzw. die Besteller zentral, dass der Gaspreis von den städtischen Werken längerfristig offeriert wird, beispielsweise in Relation zum Dieselpreis. Entsprechende Bedingungen müssten zwischen den VBSH und den Städtischen Werken ausgehandelt werden.

- › Der Einsatz von Erdgas bringt ökologisch wenig Vorteile gegenüber dem Dieselbus. Insbesondere trägt er nicht zur CO₂-Reduktion bei und bringt auch keinen relevanten regionalwirtschaftlichen Nutzen. Folglich bringt der Gasbus vor allem dann Vorteile, wenn Biogas verwendet wird. Mit dem von den städtischen Werken genannten Biogaspreis von aktuell ca. 1.40 CHF/kg (Säulenpreis inkl. MWSt.) wird der Busbetrieb jedoch vergleichsweise teurer.
- › Der Erdgaspreis ist heute über eine tiefe Mineralölsteuer subventioniert (0.067 Rp./kg, verglichen mit 0.173 Rp./l beim Diesel). Entfällt dieses Privileg gegenüber dem Diesel verteuert sich der Gasbusbetrieb.
- › Ein wichtiges Entscheidungselement liegt in der Frage, wer für die Mehrkosten des Gasbusbetriebs gegenüber dem Dieselbus aufkommt. Damit das Risiko der Tankstellenkosten nicht bei den Verkehrsbetrieben hängen bleibt, müsste die Tankstelle durch die StWSN erstellt und betrieben und die entsprechenden Kosten über den Gaspreis auf Basis der unterstellten Kosten an die VBSH verrechnet werden (wie dies zum Beispiel in Bern der Fall ist). Auch werden zuweilen Fahrzeug-Mehrkosten vom Gaslieferanten übernommen, wie dies auch von Seiten der StWSN signalisiert wurde. Es hängt letztlich von deren Strategie ab, ob sie zumindest einen Teil dieser Mehrkosten übernehmen wollen. Gründe könnten etwa der Einstieg in den Treibstoffsektor sein, wozu öffentliche Busse eine günstige Werbepattform bieten. Es fallen allerdings in jedem Fall Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus an. Die Frage der Kostenteilung bzw. die Frage, wer diese Mehrkosten übernimmt – die VBSH oder ggf. letztlich die Gaskonsumenten – ist separat zu diskutieren und wird in dieser Untersuchung nicht weiter erörtert.

Qualitative Aspekte

Vor allem von Seiten der Trolleybus-Lobby werden oft Argumente eingebracht, die in den quantitativen Analysen nicht berücksichtigt wurden:

› Nachfrage-Einfluss:

Für die Aussage, dass mit Trolleybussen eine höhere Nachfrage und deshalb auch höhere Erträge gegenüber einem Dieselbusbetrieb erwirtschaftet werden, besteht keine empirische

Basis, die das belegen würde. Deshalb wurde bei allen Varianten die gleiche Ertragssituation unterstellt.

› Fahrkomfort:

Dass der Trolleybus über den besten Fahrkomfort verfügt, ist unstrittig. Der Abstand der anderen Traktionsarten bezüglich Komforts ist allerdings abnehmend. Zum einen spielt diesbezüglich der traktionsunabhängige Gefässtyp (Niederflur) eine wichtige Rolle, zum anderen ist Fahrkomfort auch eine Frage des Fahrerverhaltens bzw. der Fahrerschulung, die bei allen Traktionsarten optimiert werden kann.

› Oberleitungssystem als Orientierungshilfe:

Dass Oberleitungen den Kundinnen und Kunden eine Orientierungshilfe sind, ihnen den Zugang zum ÖV-Angebot erleichtern und sie dazu animieren, und dass Oberleitungen damit imagebildend und zum Teil einer Marketing-Strategie gemacht werden könnten, mag man als positive Wertung einer Infrastruktur sehen. Dem kann man allerdings entgegenhalten, dass die Drahtgeflechte der Oberleitungen vor allem an städtebaulich sensiblen Orten nicht eben ästhetische Wunderwerke sind. Hier öffnet sich allerdings das Feld für subjektiv divergierende Einschätzungen.

Auswirkungen Liniennetzentwicklung

Das fahrleitungsgebundene Trolleybussystem weist generell weniger Flexibilität im Betrieb (z.B. bei temporären Streckensperrungen) und für die Liniennetzentwicklung auf. Beispielsweise zeigte die Liniennetzentwicklungsstudie der VBSH¹⁸, dass sowohl aus Marktsicht als auch betrieblich die Linie 1 aus Richtung Neuhausen sinnvollerweise am Bahnhof Schaffhausen mit einem nachfragestärkeren Linienast durchgebunden würde statt wie heute Richtung Waldfriedhof. Der Hauptgrund liegt darin, dass die beiden Äste Neuhausen und Waldfriedhof ungleich ausgelastet sind und mit der Durchbindung auf eine ähnlich ausgelastete Linie dieses Missverhältnis zugunsten eines optimalen Fahrzeugeinsatzes ausgeglichen werden könnte. Eine neue Durchbindung würde jedoch die Elektrifizierung eines weiteren Linienastes bedingen bei gleichzeitigem Rückbau der Fahrleitung auf dem Ast Waldfriedhof. Dies würde die Kosten des Trolleybusbetriebs weiter in die Höhe treiben, hätte jedoch den Vorteil, dass der Trolleybus ausschliesslich auf nachfragestarken Achsen eingesetzt ist, was angesichts der hohen Systemvorhaltekosten grundsätzlich anzustreben wäre.

¹⁸ Stadt Schaffhausen, Gemeinde Neuhausen a. Rhf., VBSH: Studie zur Liniennetzentwicklung VBSH, Schlussbericht vom 17. Dezember 2007

Weiter empfiehlt die Liniennetzentwicklungsstudie, in Neuhausen die Linie 1 ab Herbst-acker Richtung Langriet zu verlängern, dies zur besseren Erschliessung der in den letzten Jahren stark gewachsenen Wohngebiete im Raum Birchstrasse. Bei der Fortführung des Trolleybusbetriebs auf der Linie 1 wäre somit die Elektrifizierung des um rund 0.5 km verlängerten Linienabschnittes erforderlich.

Auch die Elektrifizierung der Linie 3, Breite – Krummacker/Herblingen, bringt gewisse Zielkonflikte im Zusammenhang mit der längerfristigen Liniennetzentwicklung mit sich. Zwar würde sie ebenfalls eine nachfragestarke Durchmesserlinie mit weiter wachsendem Nachfragepotenzial betreffen. Die Liniennetzentwicklungsstudie sieht jedoch bei stark wachsender Nachfrage längerfristig eine zweite Linie zur Erschliessung des Breitequartiers vor. Neben zusätzlichen Kapazitäten könnte damit auch die örtliche Erschliessung verbessert werden. Bei einer Trolleybuslinie Richtung Breite wäre der Ansatz mit einer zweiten Linie aus wirtschaftlicher Sicht nicht zweckmässig. In diesem Fall müsste die zusätzliche Kapazität mit einer Verdichtung der Linie 3 bereitgestellt werden. Die Verbesserung der örtlichen Erschliessung mit einer zweiten Busachse wäre in diesem Fall nicht möglich bzw. sehr teuer.

Die Elektrifizierung der Linie 3 müsste aus betriebswirtschaftlicher Sicht zum Zeitpunkt der Ersatzbeschaffung für die heute im Einsatz stehenden Gelenkautobusse erfolgen, das heisst im Jahre 2018. Eine frühere Elektrifizierung der Linie 3 ist nicht sinnvoll, ansonsten Restwerte nicht vollständig abgeschriebener Fahrzeuge die Rechnung temporär zusätzlich belasten.

6. FOLGERUNGEN

Zusammenfassend führen die Ergebnisse zu folgenden Aussagen:

› Der Umstieg auf eine integrale Diesel- oder Erdgasflotte ist betriebswirtschaftlich am günstigsten, bedeutet jedoch einen umweltseitigen Rückschritt, insbesondere hinsichtlich Klimapolitik. Dieser Nachteil liesse sich mit anderweitigen CO₂-Massnahmen kompensieren, wobei aus Akzeptanzgründen die Reinvestition der finanziellen Einsparungen in den ÖV-Ausbau im Vordergrund steht.

Für den Dieselbus besteht die Variante Hybridbus, welche die umweltseitigen Nachteile mindern könnte. Allerdings dürfte aus heutiger Sicht die Hybridtechnologie bis 2010, wenn der Entscheid über die Ersatzbeschaffung der acht Trolleybusse ansteht, mutmasslich noch nicht serienmässig verfügbar sein. Mit dem Entscheid für Hybridbusse würde man sich zu diesem Zeitpunkt entsprechende Risiken im Betrieb einhandeln.

› Aus heutiger Sicht bestehen für beide Antriebsarten Diesel und Erdgas Unsicherheiten bezüglich längerfristiger Ressourcenverfügbarkeit. Die VBSH sind schon heute bezüglich Treibstoff zu 80% vom Ausland abhängig. Bei einem reinen Diesel- oder Erdgasbetrieb erhöht sich die Abhängigkeit auf 100%. Verbessert werden könnte die Situation nur mit Biogasbussen oder einem Ausbau des Trolleybusnetzes. Die Energieträger Strom und Biogas lassen sich innerhalb der Schweiz oder sogar lokal produzieren mit entsprechender Wertschöpfung vor Ort. Es ist eine Wertungsfrage, ob man die Ressourcenfrage für einen kleinen ÖV-Betrieb wie die VBSH als relevant betrachtet und entsprechende Vorkehrungen, beispielsweise mit einer Diversifizierung der Flottenzusammensetzung, trifft, oder ob man davon ausgeht, dass der öffentliche Verkehr bei Dieselknappheit (Peak oil) prioritär behandelt werden wird.

› Die Weiterführung des Trolleybusbetriebs hat Umweltvorteile (CO₂, NO_x und Lärm). Zudem weist Strom hinsichtlich längerfristiger Versorgungssicherheit Vorteile gegenüber fossilem Diesel oder Gas auf. Dieser Vorteil ist insofern zu relativieren, als im heutigen VBSH-Netz lediglich acht von insgesamt 41 Fahrzeugen als Trolleybusse verkehren. Weiter spricht der höhere Fahrkomfort für den Trolleybus. Der wesentliche Nachteil sind die hohen Kosten. Zudem schränkt der fahrleitungsgebundene Trolleybus die Flexibilität für die Liniennetzentwicklung ein.

› Wird das Trolleybusnetz auf eine weitere Linie ausgedehnt, verbessert sich der Umweltnutzen gegenüber der Fortführung des Status quo. Gleichzeitig verteuert sich aber das ÖV-Gesamtsystem (höhere Investitions- und Betriebskosten). Längerfristig erhöht sich bei be-

schränkten oder knapper werdenden Finanzmitteln der öffentlichen Hand das Risiko, dass das Angebot nicht weiter ausgebaut bzw. im Extremfall gar zurückgefahren werden müsste. Daraus könnte ein verkehrspolitischer Zielkonflikt entstehen, weil gemäss Zielsetzung des Gesamtverkehrskonzepts der Stadt Schaffhausen und auch des Agglomerationsprogramms in den nächsten 20 Jahren die Hälfte des Gesamtverkehrswachstums auf dem ÖV stattfinden soll.

- › Den maximalen Umweltnutzen erreicht man mit einer kombinierten Flotte Trolley/Gas, jedoch nur, wenn die Gasbusse mit einem signifikanten Biogasanteil betankt werden. Diese Variante führt jedoch auch zu den höchsten Investitionskosten (Erhalt bzw. Erweiterung des Trolleybusnetzes, Gasbetankungsanlage und teurere Fahrzeuge). Und auch der Betrieb verteuert sich bei dieser Variante, weil die Treibstoffkosten bei einem hohen Biogasanteil unter heutigen Bedingungen deutlich höher sind, verglichen mit Diesel oder Erdgas.
- › Als Kompromiss im Zielkonflikt zwischen Kosten und Umwelt bietet sich der Biogasbus an, vor allem wenn man davon ausgeht, dass die Diesel- und Erdgaspreise in den nächsten Jahren weiter stark ansteigen. Allerdings stellt sich die Frage der Treibstoffverfügbarkeit für eine mit 100% Biogas betriebene Flotte. Mehr Flexibilität hat man mit der Variante Naturgas, einem Gemisch aus Bio- und Erdgas. Je höher jedoch der Erdgas-Anteil, desto schlechter wird die CO₂-Bilanz gegenüber 100%-Biogas.
- › Künftig wird sich bei allen Energieträgern die Frage der Verfügbarkeit und der Preisentwicklung stellen. Insbesondere ist davon auszugehen, dass als Folge der knapper werdenden Reserven bei den fossilen Treibstoffen die Diesel- und Erdgaspreise weiter steigen werden. Offen ist, wie schnell und wie stark dieser Preisanstieg stattfindet. Wegen den gegenseitigen Abhängigkeiten ist davon auszugehen, dass aufgrund von Substitutionseffekten auch die Strom- und Biogaspreise steigen werden. So betrachtet verliert der Energiepreis als massgebendes Kriterium für den Entscheid der Traktionsart an Bedeutung.
- › Lösungen, die zu einem temporären 3-Spartenbetrieb Trolley/Diesel/Gas führen, sind angesichts der Unternehmensgrösse aus betriebswirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll und deshalb für die VBSH wenig zweckmässig. Ein 3-Spartenbetrieb während ca. zehn Jahren würde bei den Varianten Trolley/Gas, bei welchen im Jahr 2012 neben den acht Trolleybussen zehn Gasbusse beschafft würden, resultieren.

Übersicht über die möglichen Varianten

Aus den obigen Erkenntnissen lassen sich drei mögliche Stossrichtungen für die Weiterentwicklung der VBSH-Flotte ableiten:

- › Umstieg auf eine reine Dieselflotte
- › Weiterbetrieb einer Mischflotte Trolley/Diesel: Fortführung Status quo oder Erweiterung Trolleybusnetz
- › Mischflotte Diesel/Biogas

Welcher Stossrichtung letztendlich der Vorzug gegeben wird, hängt von der Gewichtung der einzelnen Kriterien bzw. der Beurteilung der damit verbundenen Risiken zusammen. Die folgende Tabelle zeigt die Einschätzung der Varianten in einer Übersicht.

| FOLTTENENTWICKLUNG VBSH: ÜBERSICHT DER MÖGLICHEN STOSSRICHTUNGEN | | |
|---|--|---|
| Stossrichtung/Variante | Ersatzbeschaffung 2012 | Einschätzung/Risiken |
| Umstieg auf reine Dieselflotte | <ul style="list-style-type: none"> › 8 Trolley- durch Dieselbusse ersetzen › 10 Dieselbusse 1:1 ersetzen | <ul style="list-style-type: none"> › Betriebswirtschaftlich am günstigsten, v.a. angesichts der Flottengrösse VBSH, › Mehr Flexibilität in der Netzentwicklung und im Betrieb (Baustellen) › Lärm- und Komfortnachteile auf Linie 1 › Ohne Kompensation CO₂ umweltseitig Rückschritt › Kompensationsmassnahmen möglich, teilweise oder vollumfänglich: mehr ÖV › Keine lokale Ressourcenverfügbarkeit › Längerfristige Option Stromantrieb entfällt |
| Fortführung Status quo Trolley/Dieselflotte (Trolleybus auf Linie 1) | <ul style="list-style-type: none"> › 8 Trolley- und 10 Dieselautobusse 1:1 ersetzen | <ul style="list-style-type: none"> › Keine finanziellen Einsparungen › Auch längerfristig 2-Spartenbetrieb › Eingeschränkte Flexibilität für Netzentwicklung › Beitrag zu CO₂-Reduktion unverändert gegenüber heute › Auf Linie 1 lärmseitige Vorteile und höherer Fahrkomfort bleiben gewährt › Strom lokal produzierbar (aber quantitativ begrenzt, da nur 8 Fahrzeuge mit Stromantrieb) › Option Stromantrieb längerfristig offen |
| Ausbau Trolleybusnetz ergänzt mit Dieselflotte | <ul style="list-style-type: none"> › Dito Fortführung Status quo (zusätzliche Trolleybusse für die Netzerweiterung werden erst im 2018 beschafft) | <ul style="list-style-type: none"> › Höhere Kosten gegenüber Status quo › Eingeschränkte Flexibilität für Netzentwicklung › Höherer Umweltnutzen › Lärm- und Komfortvorteile auf zweiter Linie › Strom lokal produzierbar (aber quantitativ begrenzt, da nur 15 Fahrzeuge mit Stromantrieb) › Option Stromantrieb längerfristig offen › Risiko, dass bei knappen Finanzmitteln Angebotsausbau eingeschränkt wird |
| Diesel/Biogasflotte | <ul style="list-style-type: none"> › 8 Trolley- und 10 Dieselbusse durch Gasbusse ersetzen | <ul style="list-style-type: none"> › Keine finanziellen Einsparungen › Mehr Flexibilität in der Netzentwicklung und im Betrieb (Baustellen) › Ab 2012 grösserer CO₂-Nutzen gegenüber Fortführung Status quo › Lärm- und Komfortnachteile auf Linie 1 › Biogas lokal produzierbar, setzt aber Bau von Anlagen voraus › längerfristige Option Stromantrieb entfällt |

Tabelle 8

Die folgende Tabelle zeigt eine zusammenfassende Beurteilung der verschiedenen Stossrichtungen.

| FOLTTENENTWICKLUNG VBSH: ÜBERSICHT VARIANTENBEURTEILUNG | | | | | |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Variante | Betriebswirtschaft | Netzflexibilität | Lärm/Fahrkomfort | CO₂/KLima | Abhängigkeit/Peak oil |
| Umstieg auf reine Dieselflotte | + | + | - | 0 ¹⁾ | - |
| Fortführung Status quo Trolley/Diesel | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ausbau Trolleybusnetz / restliche Flotte Diesel | - | - | + | + | + |
| Diesel/Biogasflotte | 0 | + | - | + | + (?) |

1) nur mit Kompensationsmassnahmen

Tabelle 9 0 = wie heute + = besser als heute - = schlechter als heute

ANNEX 1: ENERGIEKOSTEN UND ENERGIEVERBRAUCH

Angenommene Energiekosten

| | Diesel CHF/l | Gas - CNG CHF/kg | Biogas CHF/kg | Strom CHF/kWh |
|---|-----------------|---------------------|------------------|------------------|
| Energie ohne MWST., ohne fisk. Abgabe | 1.220 | 0.696 | 1.329 | 0.189 |
| Fisk. Abgabe: Minöst. | 0.759 | 0.222 | 0.000 | 0.000 |
| Fisk. Abgabe: Carburat | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fisk. Abgabe: KlimaRappen | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fisk. Abgabe: Total | 0.778 | 0.222 | 0.000 | 0.000 |
| Total Energie + fisk. Abgaben, ohne MWST. | 1.998 | 0.918 | 1.329 | 0.189 |
| MWSt. (7.6%) | 0.152 | 0.070 | 0.101 | 0.014 |
| Total Energiekosten für Private (inkl. MWST. und fisk. Abgabe) | 2.150 | | | |
| Grosskundenrabatt | 0.100 | | | |
| Total Energiekosten für VBSH (inkl. MWST. und fisk. Abgabe) | 2.050 | 0.988 | 1.430 | 0.203 |
| Rückerstattung Minöst. für KTU | 0.586 | 0.155 | 0.000 | 0.000 |
| Fisk. Abgabe: Minöst nach Rückerstattung | 0.173 | 0.067 | 0.000 | 0.000 |
| Total Energiekosten VBSH nach Rückerstattung Minöst. (inkl. MWSt. und fisk. Abgaben) | 1.464 | 0.833 | 1.430 | 0.203 |

Spezifischer Energieverbrauch und CO2-Emissionen

| | | Gelenkbusse | | | | | |
|----------------------------|-----------------|--------------|--------------|------------|--------------|----------|-----------------------|
| | | Dieselbus | Hybridbus | Trolleybus | Gasbus | | |
| | | | | | "CNG" | "Biogas" | "Naturgas" (50:50) |
| Treibstoffverbrauch | l/100km | 62 | 50 | | | | |
| Dichte | kg/l | 0.832 | 0.832 | | | | |
| Energieverbrauch | kg/100km | 51.584 | 41.6 | | 65 | 65 | 65 |
| Heizwert | MJ/kg | 42.8 | 42.8 | | 46.5 | 46.5 | 46.5 |
| Energieverbrauch | kWh/km | | | 3.2 | | | |
| | MJ/kWh | | | 3.6 | | | |
| CO2 Emission | kg CO2/ kg fuel | 3.1501 | 3.1501 | | 2.56 | 0 | 1.92 |
| Energieverbrauch | MJ/100 km | 2'208 | 1'780 | 1'152 | 3'023 | 3'023 | 3'023 |
| CO2-Emission | g CO2/ km | 1'625 | 1'310 | 0 | 1'664 | 0 | 1'248 |

Verhältnis zu Diesel

| | | | | | | | |
|------------------|----------------|------|-----|-----|------|------|------|
| Energieverbrauch | bzgl MJ/100 km | 100% | 81% | 52% | 137% | 137% | 137% |
| CO2 Emission | bzgl g CO2/ km | 100% | 81% | 0% | 102% | 0% | 77% |

ANNEX 2: DETAILERGEBNISSE NETTOBARWERT

Variante 1a Trolley status quo + Dieselbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|-------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | | |
| 2012 | -2'005'428 | -1'624'350 | -13'400'000 | 0 | 0 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | 0 | -18'293'778 |
| 2013 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | 0 | -4'399'778 |
| 2014 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | 0 | -4'199'778 |
| 2015 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2016 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2017 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2018 | -2'005'428 | -1'624'350 | -8'880'000 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -12'679'778 |
| 2019 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2020 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2021 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2022 | -2'005'428 | -1'624'350 | -2'940'000 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -6'739'778 |
| 2023 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2024 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2025 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2026 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2027 | -2'005'428 | -1'624'350 | -4'200'000 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -7'999'778 |
| 2028 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2029 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2030 | -2'005'428 | -1'624'350 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 | -3'799'778 |
| 2031 | -2'005'428 | -1'624'350 | 7'284'000 | 0 | 0 | 580'000 | 326'000 | 0 | -120'000 | 0 | 4'440'222 |
| total | | | | | | | | | | | -99'235'556 |

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-81'796'931

Variante 1b Trolley status quo + CNG-Gasbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|-------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | | |
| 2012 | -1'385'812 | -1'805'700 | -14'400'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | -50'000 | -20'736'512 |
| 2013 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'076'512 |
| 2014 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'876'512 |
| 2015 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2016 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2017 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2018 | -1'385'812 | -1'805'700 | -10'480'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -13'956'512 |
| 2019 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2020 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2021 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'476'512 |
| 2022 | -1'385'812 | -1'805'700 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -8'866'512 |
| 2023 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2024 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2025 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2026 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2027 | -1'385'812 | -1'805'700 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -8'626'512 |
| 2028 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2029 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2030 | -1'385'812 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -3'426'512 |
| 2031 | -1'385'812 | -1'805'700 | 8'864'000 | 0 | -65'000 | 580'000 | 326'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 6'393'488 |
| total | | | | | | | | | | | -98'590'233 |

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-82'108'118

Variante 1c Trolley status quo + Bio-Gasbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|-------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | | |
| 2012 | -2'136'985 | -1'805'700 | -14'400'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | -50'000 | -21'437'685 |
| 2013 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'777'685 |
| 2014 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'577'685 |
| 2015 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2016 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2017 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2018 | -2'136'985 | -1'805'700 | -10'480'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -14'657'685 |
| 2019 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2020 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2021 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'177'685 |
| 2022 | -2'136'985 | -1'805'700 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -9'567'685 |
| 2023 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2024 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2025 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2026 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2027 | -2'136'985 | -1'805'700 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -9'327'685 |
| 2028 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2029 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2030 | -2'136'985 | -1'805'700 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | -4'127'685 |
| 2031 | -2'136'985 | -1'805'700 | 8'864'000 | 0 | -65'000 | 580'000 | 326'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 5'062'315 |
| total | | | | | | | | | | | -113'243'705 |

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-93'423'298

Variante 2a **Trolley Ausbau + Dieselbus**

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr | |
|------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | | | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] |
| 2012 | -1'888'574 | -1'683'500 | -13'400'000 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | 0 |
| 2013 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | 0 |
| 2014 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | 0 |
| 2015 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 |
| 2016 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 |
| 2017 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | 0 |
| 2018 | -1'888'574 | -1'683'500 | -12'730'000 | 0 | 0 | 0 | -9'050'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2019 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2020 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2021 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2022 | -1'888'574 | -1'683'500 | -2'940'000 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2023 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2024 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2025 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2026 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2027 | -1'888'574 | -1'683'500 | -4'200'000 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2028 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2029 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2030 | -1'888'574 | -1'683'500 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | 0 |
| 2031 | -1'888'574 | -1'683'500 | 8'439'000 | 0 | 0 | 0 | 4'540'000 | 1'350'000 | 0 | -200'000 | 0 |

total -105'912'485

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-88'767'669

Variante 2b **Trolley Ausbau + CNG-Gasbus**

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr | |
|------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | | | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] |
| 2012 | -1'435'618 | -1'814'800 | -14'400'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2013 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2014 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2015 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2016 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2017 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2018 | -1'435'618 | -1'814'800 | -13'630'000 | 0 | -65'000 | -9'050'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2019 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2020 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2021 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2022 | -1'435'618 | -1'814'800 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2023 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2024 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2025 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2026 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2027 | -1'435'618 | -1'814'800 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2028 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2029 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2030 | -1'435'618 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2031 | -1'435'618 | -1'814'800 | 9'809'000 | 0 | -65'000 | 4'540'000 | 1'350'000 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |

total -107'109'370

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-90'435'986

Variante 2c **Trolley Ausbau + Bio-Gasbus**

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | Mehrkosten 3-sparten- betrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr | |
|------|--------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| | Energie [CHF/a] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investition [CHF] | Investition [CHF] | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] | Investitionen/ Desinvestition [CHF] | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/ Arbeitsbühne [CHF] | | | Wartung/ Unterhalt [CHF/a] |
| 2012 | -2'010'160 | -1'814'800 | -14'400'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | -350'000 | -710'000 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2013 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -600'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2014 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | -400'000 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2015 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2016 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2017 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -120'000 | -50'000 | 0 |
| 2018 | -2'010'160 | -1'814'800 | -13'630'000 | 0 | -65'000 | -9'050'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2019 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2020 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2021 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2022 | -2'010'160 | -1'814'800 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2023 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2024 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2025 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2026 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2027 | -2'010'160 | -1'814'800 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2028 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2029 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2030 | -2'010'160 | -1'814'800 | 0 | 0 | -65'000 | -50'000 | 0 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |
| 2031 | -2'010'160 | -1'814'800 | 9'809'000 | 0 | -65'000 | 4'540'000 | 1'350'000 | 0 | -200'000 | -50'000 | 0 |

total -118'600'191

Realer Zinssatz
2.5%

Netto Barwert (NBW): CHF
-99'392'599

Variante 3 Dieselbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Synergie 1-Spartenbetrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|------|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | Energie | Wartung/Unterhalt | Investition | Investition | Wartung/Unterhalt | Investitionen/Desinvestition | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/Arbeitsbühne | Wartung/Unterhalt | | |
| | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF] | [CHF] | [CHF/a] | [CHF] | | [CHF] | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF/a] |
| 2012 | -2'138'975 | -1'556'750 | -9'000'000 | 0 | 0 | -500'000 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -13'145'725 |
| 2013 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2014 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2015 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2016 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2017 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2018 | -2'138'975 | -1'556'750 | -8'880'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -12'525'725 |
| 2019 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2020 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2021 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2022 | -2'138'975 | -1'556'750 | -2'940'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -6'585'725 |
| 2023 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2024 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2025 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2026 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2027 | -2'138'975 | -1'556'750 | -4'200'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -7'845'725 |
| 2028 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2029 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2030 | -2'138'975 | -1'556'750 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'645'725 |
| 2031 | -2'138'975 | -1'556'750 | 7'284'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | 3'638'275 |

total -91'150'494

Realer Zinssatz
2.5%

Nettobarwert (NBW): CHF
-74'197'239

Variante 4a CNG-Gasbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Synergie 1-Spartenbetrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|------|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | Energie | Wartung/Unterhalt | Investition | Investition | Wartung/Unterhalt | Investitionen/Desinvestition | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/Arbeitsbühne | Wartung/Unterhalt | | |
| | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF] | [CHF] | [CHF/a] | [CHF] | | [CHF] | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF/a] |
| 2012 | -1'328'890 | -1'795'300 | -10'800'000 | -1'800'000 | -65'000 | -500'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | -16'289'190 |
| 2013 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2014 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2015 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2016 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2017 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2018 | -1'328'890 | -1'795'300 | -10'480'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -13'669'190 |
| 2019 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2020 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2021 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3'189'190 |
| 2022 | -1'328'890 | -1'795'300 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -8'578'190 |
| 2023 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2024 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2025 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2026 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2027 | -1'328'890 | -1'795'300 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -8'339'190 |
| 2028 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2029 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2030 | -1'328'890 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -3'139'190 |
| 2031 | -1'328'890 | -1'795'300 | 8'864'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | 5'724'810 |

total -88'639'791

Realer Zinssatz
2.5%

Nettobarwert (NBW): CHF
-73'211'361

Variante 4b Bio-Gasbus

| | Fahrzeuge | | | Tankanlage | | Oberleitung | | | | Synergie 1-Spartenbetrieb | Summe der Zahlungsströme pro Jahr |
|------|------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| | Energie | Wartung/Unterhalt | Investition | Investition | Wartung/Unterhalt | Investitionen/Desinvestition | Anpassungen Baustellen | Turmwagen/Arbeitsbühne | Wartung/Unterhalt | | |
| | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF] | [CHF] | [CHF/a] | [CHF] | | [CHF] | [CHF/a] | [CHF/a] | [CHF/a] |
| 2012 | -2'281'929 | -1'795'300 | -10'800'000 | -1'800'000 | -65'000 | -500'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | -17'242'229 |
| 2013 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2014 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2015 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2016 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2017 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2018 | -2'281'929 | -1'795'300 | -10'480'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -14'622'229 |
| 2019 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2020 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2021 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -4'142'229 |
| 2022 | -2'281'929 | -1'795'300 | -3'640'000 | -1'800'000 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -9'532'229 |
| 2023 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2024 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2025 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2026 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2027 | -2'281'929 | -1'795'300 | -5'200'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -9'292'229 |
| 2028 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2029 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2030 | -2'281'929 | -1'795'300 | 0 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | -4'092'229 |
| 2031 | -2'281'929 | -1'795'300 | 8'864'000 | 0 | -65'000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50'000 | 4'771'771 |

total -107'700'578

Realer Zinssatz
2.5%

Nettobarwert (NBW): CHF
-88'068'446

ANNEX 3: DETAIL JAHRESKOSTENRECHNUNG

| Vergleich Jahreskosten je System Trolley/Diesel/Gas für die VBSH-Gesamtflotte | | 1 - Trolley status quo | | | 2 - Trolley Ausbau | | | 3 - Dieselbus | 4 - Gasbus | |
|---|--------------|------------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 1a - Diesel | 1b - CNG | 1c - Biogas | 2a - Diesel | 2b - CNG | 2c - Biogas | | 4a - CNG | 4b - Biogas |
| 0. Mengengerüst | | | | | | | | | | |
| <i>Trolley-Gelenkbusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anzahl Fahrzeuge | Fzg. | 8 | 8 | 8 | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Jahres-km/Fahrzeug | km/a | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 |
| Jahresfahrleistung total | km/a | 520'000 | 520'000 | 520'000 | 975'000 | 975'000 | 975'000 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Gelenkautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anzahl Fahrzeuge | Fzg. | 12 | 12 | 12 | 5 | 5 | 5 | 20 | 20 | 20 |
| Jahres-km/Fahrzeug | km/a | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 |
| Jahresfahrleistung total | km/a | 780'000 | 780'000 | 780'000 | 325'000 | 325'000 | 325'000 | 1'300'000 | 1'300'000 | 1'300'000 |
| <i>Standardautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anzahl Fahrzeuge | Fzg. | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Jahres-km/Fahrzeug | km/a | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 | 65'000 |
| Jahresfahrleistung total | km/a | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 | 1'365'000 |
| <i>Kontrolle</i> | | | | | | | | | | |
| Total Fahrzeuge | Fzg. | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| Total Jahreskilometer | km/a | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 | 2'665'000 |
| 1. Fahrzeugkosten | | | | | | | | | | |
| 1a. Kapitalisierte Anschaffungskosten | | | | | | | | | | |
| <i>Trolley-Gelenkbusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF/Fzg | 1'150'000 | 1'150'000 | 1'150'000 | 1'150'000 | 1'150'000 | 1'150'000 | | | |
| Total Investition | CHF | 9'200'000 | 9'200'000 | 9'200'000 | 17'250'000 | 17'250'000 | 17'250'000 | 0 | 0 | 0 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 676'952 | 676'952 | 676'952 | 1'269'285 | 1'269'285 | 1'269'285 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Gelenkautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF/Fzg | 600'000 | 700'000 | 700'000 | 600'000 | 700'000 | 700'000 | 600'000 | 700'000 | 700'000 |
| Total Investition | CHF | 7'200'000 | 8'400'000 | 8'400'000 | 3'000'000 | 3'500'000 | 3'500'000 | 12'000'000 | 14'000'000 | 14'000'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 647'576 | 755'505 | 755'505 | 269'823 | 314'794 | 314'794 | 1'079'293 | 1'259'175 | 1'259'175 |
| <i>Standardautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF/Fzg | 420'000 | 520'000 | 520'000 | 420'000 | 520'000 | 520'000 | 420'000 | 520'000 | 520'000 |
| Total Investition | CHF | 8'820'000 | 10'920'000 | 10'920'000 | 8'820'000 | 10'920'000 | 10'920'000 | 8'820'000 | 10'920'000 | 10'920'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 793'281 | 982'157 | 982'157 | 793'281 | 982'157 | 982'157 | 793'281 | 982'157 | 982'157 |
| Total Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 2'117'809 | 2'414'614 | 2'414'614 | 2'332'389 | 2'566'236 | 2'566'236 | 1'872'574 | 2'241'332 | 2'241'332 |
| 1b. Energieverbrauch und -kosten | | | | | | | | | | |
| <i>Trolley-Gelenkbusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Stromverbrauch | kWh/km | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | | | |
| <i>Gelenkautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Dieselverbrauch | l/100km | 62 | | | 62 | | | 62 | | |
| spez. Gasverbrauch | kg/100km | | 65 | 65 | | 65 | 65 | | 65 | 65 |
| <i>Standardautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Dieselverbrauch | l/100km | 48 | | | 48 | | | 48 | | |
| spez. Gasverbrauch | kg/100km | | 55 | 55 | | 55 | 55 | | 55 | 55 |
| spez. Strompreis | CHF/kWh | 0.203 | 0.203 | 0.203 | 0.203 | 0.203 | 0.203 | 0.203 | | |
| spez. Dieselpreis | CHF/l | 1.464 | | | 1.464 | | | 1.464 | | |
| spez. Gaspreis | CHF/kg | | 0.833 | 1.430 | | 0.833 | 1.430 | | 0.833 | 1.430 |
| Total Energiekosten | CHF/a | 2'005'428 | 1'385'812 | 2'136'985 | 1'888'574 | 1'435'618 | 2'010'160 | 2'138'975 | 1'328'890 | 2'281'929 |
| 1c. Wartungskosten | | | | | | | | | | |
| <i>Trolley-Gelenkbusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Kosten Trolley | CHF/km | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | | | |
| <i>Gelenkautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Kosten Diesel | CHF/km | 0.62 | | | 0.62 | | | 0.62 | | |
| spez. Kosten Gas | CHF/km | | 0.73 | 0.73 | | 0.73 | 0.73 | | 0.73 | 0.73 |
| <i>Standardautobusse</i> | | | | | | | | | | |
| spez. Kosten Diesel | CHF/km | 0.55 | | | 0.55 | | | 0.55 | | |
| spez. Kosten Gas | CHF/km | | 0.62 | 0.62 | | 0.62 | 0.62 | | 0.62 | 0.62 |
| Wartungskosten Gesamtflotte pro Jahr | CHF/a | 1'624'350 | 1'805'700 | 1'805'700 | 1'683'500 | 1'814'800 | 1'814'800 | 1'566'750 | 1'795'300 | 1'795'300 |
| Fixkostenblock Mehr-Spartenbetrieb | CHF/a | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -50'000 | -50'000 | -50'000 |
| Total Wartungskosten pro Jahr | CHF/a | 1'624'350 | 1'805'700 | 1'805'700 | 1'683'500 | 1'814'800 | 1'814'800 | 1'506'750 | 1'745'300 | 1'745'300 |
| Total Fahrzeugkosten | CHF/a | 5'747'586 | 5'606'126 | 6'357'299 | 5'904'463 | 5'816'654 | 6'391'195 | 5'518'298 | 5'315'522 | 6'268'561 |
| 2. Betankungsanlage | | | | | | | | | | |
| 2a. Anlage, Infrastruktur | | | | | | | | | | |
| <i>Investitionskosten</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF | 0 | 1'800'000 | 1'800'000 | | 1'800'000 | 1'800'000 | | 1'800'000 | 1'800'000 |
| Nutzungsdauer | Jahre | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 0 | 221'924 | 221'924 | 0 | 221'924 | 221'924 | 0 | 221'924 | 221'924 |
| <i>2b. Betriebskosten pro Jahr</i> | | | | | | | | | | |
| | CHF/a | 0 | 65'000 | 65'000 | | 65'000 | 65'000 | | 65'000 | 65'000 |
| Total Jahreskosten Betankungsanlage | CHF/a | 0 | 286'924 | 286'924 | 0 | 286'924 | 286'924 | 0 | 286'924 | 286'924 |
| 3. Oberleitung | | | | | | | | | | |
| 3a. Fahrleitungserneuerung | | | | | | | | | | |
| | CHF/a | 50'000 | 50'000 | 50'000 | 50'000 | 50'000 | 50'000 | | | |
| 3b. Netzerweiterungen | | | | | | | | | | |
| <i>Investitionskosten Oberleitung/Gleich</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF | 0 | 0 | 0 | 9'000'000 | 9'000'000 | 9'000'000 | | | |
| Nutzungsdauer | Jahre | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | | | |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | | | |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 0 | 0 | 0 | 576'108 | 576'108 | 576'108 | | | |
| <i>3c. Turmwagen + Arbeitsbühne</i> | | | | | | | | | | |
| Anschaffungskosten | CHF/a | 710'000 | 710'000 | 710'000 | 710'000 | 710'000 | 710'000 | | | |
| Nutzungsdauer | Jahre | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | | |
| Zinssatz | % | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | 4% | | | |
| Jahreskosten = Kapitalkosten | CHF/a | 52'243 | 52'243 | 52'243 | 52'243 | 52'243 | 52'243 | | | |
| <i>3d. Unterhaltskosten Oberleitung</i> | | | | | | | | | | |
| | CHF/a | 120'000 | 120'000 | 120'000 | 200'000 | 200'000 | 200'000 | | | |
| Total Jahreskosten Oberleitung | CHF/a | 222'243 | 222'243 | 222'243 | 878'351 | 878'351 | 878'351 | | | |
| Total Jahreskosten | CHF/a | 5'969'829 | 6'115'293 | 6'866'466 | 6'782'814 | 6'981'929 | 7'556'470 | 5'518'298 | 5'602'445 | 6'555'485 |