WSD-BS

DIESEL-, GAS- ODER TROLLEY-BUS?

Schlussbericht
Bern, 20. Februar 2006

Mario Keller, Matthias Lebküchner, Natascha Kljun

In Zusammenarbeit mit Günter Weber (3BAG)

B7095A_V03D2.DOC

SPERRFRIST 28.3.2006, 15.00 h

INFRAS

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN
t +41 31 370 19 19
f +41 31 370 19 10
BERN@INFRAS.CH

GERECHTIGKEITSGASSE 20
CH-8039 ZÜRICH

WWW.INFRAS.CH

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG 4
1. AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG 7
1.1. AUSGANGSLAGE 7
1.2. ZIEL UND AUFBAU DES BERICHTS 7
2. VARIANTEN, SZENARIEN 8
2.1. ALLGEMEINES 8
2.2. VARIANTEN 9
2.3. GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN ZU BUS-ANTRIEBEN 9
2.3.1. Künftige Fahrzeugtechnologien 9
2.3.2. Biogene Treibstoffe 14
2.3.3. Wasserstoff / Brennstoffzellen 15
2.4. KONKRETISIERUNG DER SZENARIEN 17
2.4.1. Voraussetzungen 17
2.4.2. Definition im Einzelnen 17
2.4.3. Mengengerüste 19
2.5. KOMMENTARE ZU DEN SZENARIEN 19
2.5.1. Szenario 1 und 2 19
2.5.2. Szenario 3a und 3b 19
2.5.3. Elektrifizierung der Linie 33 ? 21
3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN 22
3.1. METHODIK 22
3.2. ANMERKUNGEN ZU DEN EINZELNEN KOSTEN-KOMPONENTEN 24
3.2.1. Beschaffungskosten Fahrzeuge 24
3.2.2. Wartungskosten 25
3.2.3. Energiekosten 27
3.2.4. Tankanlage 28
3.2.5. Oberleitung 29
3.2.6. Garagierung 33
3.3. ERGEBNISSE 34
3.3.1. Übersicht 34
3.4. SENSITIVITÄTEN 36
3.4.1. Der Einfluss einzelner Annahmen 36

3.4.2. Verzicht auf Elektrifizierung Linie 36 37
3.4.3. Variante Biogas 39
3.4.4. Variante Biodiesel 40
3.5. ZUSAMMENFASSUNG 42
4. ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN 43
4.1. SCHADSTOFFE UND LUFTHYGIENE 43
4.1.1. Einleitung 43
4.1.2. Annahmen 46
4.1.3. Emissionen im Betrieb 47
4.1.4. Emissionen durch Bereitstellung von Treibstoffen 49
4.2. ENERGIEVERBRAUCH UND KLIMA 51
4.2.1. Betrieb 51
4.2.2. Bereitstellung von Treibstoffen 53
4.3. LÄRM UND FAHRKOMFORT 55
4.4. FAZIT ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN 56
5. KOSTEN-NUTZEN-BETRACHTUNGEN, FOLGERUNGEN 58
5.1. KOSTENWIRKSAMKEIT 58
5.2. FINANZIERUNGSMUSTER 60
5.3. FOLGERUNGEN 62
ANNEX 1: ENERGIEVERBRAUCH UND ENERGIEKOSTEN 65
ANNEX 2A: INVESTITIONEN JE SZENARIO SOWIE JAHRESKOSTEN: BASIS-RECHNUNG 66
ANNEX 2B: SENSITIVITÄTSRECHNUNG: KOSTEN OHNE ELEKTRIFIZIERUNG LINIE 36 67
ANNEX 2C: SENSITIVITÄTSRECHNUNG: KOSTEN VARIANTE BIOGAS 68
ANNEX 3: EMISSIONSGRENZWERTE SCHWERE MOTORWAGEN (MIT DIESELMOTOR) 69
ANNEX 4: EMISSIONEN DER BVB 70
GLOSSAR 74
LITERATUR 76

ZUSAMMENFASSUNG

Die Basler Verkehrsbetriebe (BVB) stehen vor einer Busbeschaffungsrunde: Im Zeitraum 2007-2009 ist rund ein Drittel der Busflotte zu ersetzen (total 26 Busse); die übrigen rund zwei Drittel (total 46 Busse) stehen etwa im Zeitpunkt 2015 zum Ersatz an. Die BVB kennen heute drei Bus-Antriebssysteme (Diesel, Gas, Trolley). Erklärtes Ziel ist – aus Wirtschaftlichkeitsgründen – die Reduktion der Antriebssysteme. Ein erster Anlauf zur Vereinheitlichung der Flotte ist im Jahr 2004 vom Grossen Rat abgelehnt worden. Umstritten war vor allem die Ausmusterung der Gasbusse. Im Herbst 2004 wurde dann die von gut 7000 Stimmberechtigten unterzeichnete Initiative „Ja zum Trolleybus" eingereicht, welche fordert, das System Trolleybus aufrechtzuerhalten und weiterzuentwickeln. Das vorliegende Gutachten zeigt die ökologische und ökonomische Effizienz verschiedener Busantriebssysteme auf, wie es der Grosse Rat auf Antrag der Umwelt- und Verkehrskommission verlangt hat.

Zu diesem Zweck werden **vier Szenarien** entworfen:

1. Vereinheitlichung der BVB-Busflotte auf Basis Diesel,
2. Vereinheitlichung der BVB-Busflotte auf Basis Gas,
3. Beibehaltung bzw. Ausbau des Trolleybus-Systems mit gleichzeitiger Vereinheitlichung der Verbrennungsmotor-Flotte, wobei dies auf Basis Diesel (Szenario 3a) oder auf Basis Gas (Szenario 3b) erfolgen kann. Es wurde unterstellt, dass zusätzlich zur bestehenden Linie 31 neu auch die Linien 30 und 36 auf Trolley-Betrieb umgestellt werden; so würde rund die Hälfte aller Buskm der BVB mit Trolleybussen zurückgelegt.

In technischer Hinsicht werden neueste Antriebstechnologien unterstellt: beim Dieselszenario wird von Euro-5-Bussen (mit der sog. SCR-Technologie + Partikelfilter) ausgegangen; solche Fahrzeuge verkehren zwar derzeit noch nicht auf der Strasse, zum Beschaffungszeitpunkt sollten sie aber verfügbar sein. Beim Gas-Szenario werden Busse unterstellt, die den sog. EEV Standard (Enhanced Environmentally-friendly Vehicle) einhalten, und auch beim Trolleybus-Szenario wird mit modernsten Fahrzeugen gerechnet.

Die **finanziellen Auswirkungen** werden anhand von fahrzeugspezifischen Jahreskosten (ohne Fahrerkosten) aufgezeigt. Dabei interessieren primär die Differenzen zwischen den verschiedenen Varianten. Berücksichtigt werden die Kosten für die Fahrzeuge, deren Betriebskosten (einschliesslich Energiekosten und Wartung) sowie die Kosten für allfällige Infrastruktur-Ausbauten (wie Tankanlagen, Oberleitungen für Trolleybusse, Anpassungen der Garagen). Gleichzeitig werden Sensitivitätsbetrachtungen gemacht, um einerseits nicht

eliminierbaren Unsicherheiten in den Annahmen (z.B. zu den Wartungskosten neuester Technologien) Rechnung zu tragen, andererseits um die Auswirkungen weiterer Alternativen (z.B. Biogas statt Erdgas, Biodiesel statt konventionellem Diesel) aufzuzeigen.

VERGLEICH DER JAHRESKOSTEN (IN MIO CHF/A) DER VERSCHIEDENEN SZENARIEN						
Szenario	**1**		**2**		**3a**	**3b**
	Diesel	**Variante 15% Biodiesel**	**Gas**	**Variante Biogas**	**Trolley/ Diesel**	**Trolley/ Gas**
ab 2008 (Phase 1)	2.86	2.94	3.17	3.56	3.39	3.54
ab 2015 (Phase 1+2)	8.42	8.64	9.38	10.50	11.43	11.97
Mehrkosten (in Mio CHF/a) im Vergleich zum Dieselszenario						
ab 2008 (Phase 1)		0.08	0.31	0.69	0.52	0.67
ab 2015 (Phase 1+2)		0.23	0.97	2.08	3.01	3.55

Tabelle Z-1

Gemäss Tabelle Z-1 ist die Dieselvariante das kostengünstigste Szenario. In Relation dazu liegen die Mehrkosten der andern Szenarien im Zeitraum bis 2015 im Bereich von 0.3 bis 0.7 Mio CHF/a. Längerfristig, nach 2015, sind die Differenzen deutlich grösser, weil zusätzliche Investitionen dazukommen und die Mengeneffekte in den Differenzkosten stärker zu Buche schlagen: Das Gas-Szenario verursacht längerfristig Mehrkosten von rund 1 (Erdgas) bis 2 (Biogas) Mio CHF/a gegenüber dem Dieselszenario, die kombinierten Trolley-Szenarien bedeuten Mehrkosten von 3 bis 3.5 Mio CHF/a. Die Investitionen gehen von 37.5 Mio. CHF im Diesel-Szenario bis knapp 86 Mio. CHF im Trolley/Gasbus-Szenario.

Die **ökologischen Auswirkungen** lassen sich wie folgt zusammenfassen:

› Bezüglich Lufthygiene und Klimaaspekten ist der **Trolleybus** mit Stromversorgung aus schweizerischer Produktion unschlagbar. Diese Vorteile müssen allerdings mit hohen Kosten erkauft werden. So sind etwa die spezifischen Kosten der CO_2-Reduktion im Vergleich zum Biogasbus fast 3x höher. Zudem vermag das Trolley-Diesel-Szenario nur etwa halb soviel CO_2-Emission zu reduzieren wie das Biogas-Szenario. Lärm- und Fahrkomfortseitig hingegen verbleiben Vorteile.

› Die lufthygienisch relevante Differenz zwischen Gasbus und Dieselbus wird künftig in den Hintergrund treten, die Treibhausgasproblematik und Treibstoff-Verfügbarkeitsfrage wird dominierender. Der **Erdgasbus** wird dafür keine zielführende Massnahme sein, da keine oder nur geringe CO_2-Emissionen eingespart werden und auch die Abhängigkeit von exter-

nen Lieferanten nicht prinzipiell anders ist als bei Dieselöl. Wenn der Erdgasbus mit Trolleybussen kombiniert wird, werden zwar CO_2-Emissionen reduziert, allerdings zu vergleichsweise hohen Kosten pro t CO_2.

› Vorteile ergeben sich, wenn der Gasbus mit **Biogas** betrieben wird. Einerseits wird erst so in nennenswertem Umfang CO_2 reduziert, andererseits sinken die spezifischen Kosten (pro t CO_2) deutlich, aber die absoluten Mehrkosten bleiben markant (+2 Mio CHF/a). Dem steht ein volkswirtschaftlicher Mehrwert gegenüber, weil mit den erneuerbaren Treibstoffen die gesamte Wertschöpfungskette in der Region bleibt. Eine Kombination von Biogasbus und Trolleybus ist zumindest aus CO_2-Optik fragwürdig, weil sie keine namhaften zusätzlichen CO_2-Reduktionen bringt, hingegen steigen die spezifischen wie auch die absoluten Kosten der CO_2-Reduktion deutlich an.

› **Biodiesel** ist aus CO_2-Sicht interessant. Allerdings ist die CO_2-Reduktion limitiert, weil realistischerweise die Beimischung von Biodiesel zum konventionellen Treibstoff begrenzt bleibt (ca. 15%). Die spezifischen Reduktionskosten von Biodiesel (pro t CO_2) sind vergleichbar mit jenen von Biogas. Eine Kombination mit Trolleybussen steigert zwar die CO_2-Reduktion, gleichzeitig aber auch die Kosten (spezifisch wie absolut).

Vor diesem Hintergrund interessiert, ob **Spielräume im Entscheidungsprozess** bestehen:

› Ein Systementscheid in Sachen Trolleybus ist unumgänglich, weil hier Entscheidbedarf besteht (Investitionsstau für bestehende Oberleitungen, Garage). Ein Entscheid für Trolleybusse ist ein langfristiger Entscheid, weil Kapitalkosten bis in den Zeitraum 2030/40 anfallen.

› Ein Entscheid pro Diesel und gegen Gasbus wäre faktisch ein Systementscheid, weil dann die Gasbetankungsanlage demontiert und im Fall eines Meinungswechsels wieder neu aufgebaut werden müsste, was wenig zweckmässig wäre.

› Ein Entscheid pro Gasbus und gegen Diesel ist nicht zwangsläufig ein Systementscheid. Im Bedarfsfall könnte in der zweiten Phase (ab 2015) ohne grosse Fehlinvestitionen auf den Dieselpfad zurückgekehrt werden.

› Zur **Finanzierung**: Für den Fall Gasbus besteht eine Offerte von GVM/IWB, Mehrkosten der Erdgasvariante zu übernehmen. Aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht ist eine Erdgasbusvariante jedoch wenig zielführend. Vielmehr gilt: Wenn schon Gas, dann Biogas. Das aber heisst zusätzliche Mehrkosten. Dafür könnten allenfalls Gelder aus dem Basler Förderfonds gemäss kantonalem Energiegesetz herangezogen werden.

1. AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

1.1. AUSGANGSLAGE

Basel ist eine „Tramstadt". Diese befördern etwa drei Viertel aller Personen im städtischen ÖV. Gleichwohl leisten auch die Busse einen substanziellen Beitrag an der gesamten Fahrleistung, jährlich legen sie rund 4.3 Mio Bus-Km zurück. In Bälde steht bei den Basler Verkehrsbetrieben (BVB) eine Busbeschaffungsrunde an: Im Zeitraum 2007-2009 ist rund ein Drittel der Busflotte zu ersetzen; die übrigen zwei Drittel stehen etwa im Zeitpunkt 2015 zum Ersatz an. Die BVB kennen heute drei Bus-Antriebssysteme (Diesel, Gas, Trolley). Erklärtes Ziel ist – aus Wirtschaftlichkeitsgründen – die Reduktion der Antriebssysteme. Ein erster Anlauf zur Vereinheitlichung der Flotte ist im Jahr 2004 vom Grossen Rat abgelehnt worden. Umstritten war vor allem die Ausmusterung der Gasbusse. Im Herbst 2004 wurde dann die von gut 7000 Stimmberechtigten unterzeichnete Initiative „Ja zum Trolleybus" eingereicht, nachdem im Frühjahr des gleichen Jahres bereits eine ähnlich lautende Petition zustande kam. Die Trolleybusinitiative fordert, dass „das System Trolleybus aufrechtzuerhalten und weiter zu entwickeln und bei der Beschaffung von Fahrzeugen als Ergänzung zum Tram der Steigerung der Lebensqualität besonderes Gewicht beizumessen sei". Die Petition fordert den Erhalt des Systems Trolleybus und die Elektrifizierung der Buslinie 36.

Auf Antrag der Umwelt- und Verkehrskommission hat der Grosse Rat verlangt, es solle mit einem Gutachten die ökologische und ökonomische Effizienz verschiedener Busantriebssysteme aufgezeigt werden.

1.2. ZIEL UND AUFBAU DES BERICHTS

Der vorliegende Bericht stellt dar, welche Varianten für den Busersatz realistischerweise in Frage kommen, welchen ökologischen Nutzen diese Varianten bringen und mit welchen betrieblichen, technischen und finanziellen Konsequenzen diese verbunden sind. Zu diesem Zweck wurden vier Szenarien entworfen: eine Vereinheitlichung zu einer reinen Dieselflotte, die Vereinheitlichung zu einer reinen Gasbus-Flotte sowie zwei Mischformen Trolley-/Dieselbusse bzw. Trolley-/Gasbusse. Der Bericht untersucht dazu die finanziellen und ökologischen Auswirkungen:

Kapitel 2 erörtert die grundlegenden Möglichkeiten und skizziert die Szenarien,
Kapitel 3 erläutert technische, betriebliche und finanzielle Auswirkungen,
Kapitel 4 geht auf die ökologischen Implikationen ein, und
Kapitel 5 fügt Kosten-Nutzen-Betrachtungen an und zieht Folgerungen.

2. VARIANTEN, SZENARIEN

2.1. ALLGEMEINES

In Basel wird der Hauptteil der Fahrleistungen durch die Trams erbracht, nämlich rund 11.1 der insgesamt 15.4 Mio Wagen-Km/a (2004). Auf die Busse entfallen insgesamt 4.3 Mio Wagen-Km/a, davon 3.8 auf Autobusse und 0.5 auf Trolleybusse. Funktional bilden die Tramlinien das Hauptgerüst, während die Buslinien eher ergänzenden Charakter haben. Eine gewisse Sonderstellung nimmt die Linie 36 ein, da sie eine „Ringlinie" bildet. Die Trolleybusse ihrerseits spielen – bezogen auf den Anteil an der Gesamtfahrleistung – mit 3-4% mittlerweile eine nur mehr untergeordnete Rolle.

Bei den Bussen steht im Zeitraum 2007 – 2009 eine Erneuerungsrunde an, weil ein Teil der Fahrzeuge das technische Nutzungsalter erreicht hat. Weil eine Ersatzbeschaffung in eine längerfristige Perspektive einzubetten ist, soll gleichzeitig auch die nächste absehbare Ersatzphase mit in Betracht gezogen werden, welche ca. 2015 zu erwarten ist.

Ausgangslage ist der heutige Bus-Bestand gemäss Angaben BVB:

Bustyp	Anzahl	Baujahr	Ersatz im Jahr
Gas-Standardbus	12	1995	2008
Trolley-Gelenkbus	8	1995	2008
Diesel-Gelenkbus	6	1995	2008
Diesel-Gelenkbus	38	2000	2015
Diesel-Standardbus	8	2000	2015
TOTAL	72		

Tabelle 1 Busbestand der BVB.

Aufgrund dieser Situation sind total 72 Busse in zwei Beschaffungsrunden zu ersetzen:
› Phase 1: ca. 2008, mit Ersatz von 14 Gelenkbussen und 12 Standardbussen (total 26)
› Phase 2: ca. 2015, mit Ersatz von 38 Gelenkbussen und 8 Standardbussen (total 46)

Ein erklärtes Ziel der BVB ist die Vereinheitlichung der Flotte – primär aus Wirtschaftlichkeitsgründen. Die BVB versprechen sich von einer Vereinheitlichung Effizienzgewinne, weil damit grössere Einheiten beschafft und betrieben und insbesondere einheitlich gewartet werden können. Die BVB selber haben sich 2004 für eine einheitliche Dieselflotte ausgesprochen und wollten damit die vergleichsweise kleinen Gasbus- bzw. Trolleybus-Anteile ausmustern. Gleichzeitig wurden aber auf politischem Weg eine Beibehaltung der Gasfahrzeuge und gleichzeitig auch der Erhalt bzw. die Weiterentwicklung der Trolleybusse gefor-

dert. Aus dieser Konstellation heraus werden im Folgenden entsprechende Varianten (Szenarien) definiert und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

2.2. VARIANTEN

Aufgrund der dieser Studie vorausgehenden Diskussionen stehen prinzipiell drei Möglichkeiten im Vordergrund, wie die künftige Busflotte der BVB sich entwickeln könnte:

1. Vereinheitlichung der BVB-Busflotte auf Basis Diesel,
2. Vereinheitlichung der BVB-Busflotte auf Basis Gas,
3. Beibehaltung und allenfalls Ausbau des Trolleybus-Systems mit gleichzeitiger Vereinheitlichung der Verbrennungsmotor-Flotte, wobei dies sowohl auf Basis Diesel als auch auf Basis Gas erfolgen kann.

2.3. GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN ZU BUS-ANTRIEBEN

Bevor diese Möglichkeiten weiter als „Szenarien" konkretisiert werden, soll kurz auf den Stand der Technologie bei den verschiedenen Antriebstechnologien eingegangen werden, denn letztlich sind es die mit ihnen verbundenen Vorteile (oder Nachteile), welche die Promotoren (bzw. Gegner) dazu bringen, eine bestimmte Technologie zu bevorzugen. Die technologische Entwicklung spielt in jedem Fall wichtige Rolle.

2.3.1. KÜNFTIGE FAHRZEUGTECHNOLOGIEN

Rolle der Emissionsgesetzgebung

Die bisherige und unmittelbar bevorstehende Entwicklung der Motoren- und Fahrzeugtechnologie war und ist stark geprägt von der Emissionsgesetzgebung. Die derzeit geltende Stufe Euro-3 wird in Kürze durch Euro-4 abgelöst (2005/06)[1], Euro-5 ist bereits beschlossen, verlangt eine zusätzliche Absenkung der Stickoxide und wird 2008/09 verbindlich. Daneben hat sich im Busbereich – auch wenn gesetzlich nicht vorgeschrieben – die Ausrüstung mit Partikelfiltern weitgehend als „informeller Standard" durchgesetzt, zumal die Bedeutung der Feinpartikel in jüngster Zeit zunehmend ins öffentliche Bewusstsein getreten ist.

Die nachstehende Figur zeigt die Entwicklung der Grenzwerte der beiden Hauptkomponenten NO_x (Stickoxide) und PM (Partikel). [Vgl. auch Annex 3].

1 Für die Typengenehmigung gilt jeweils das erstgenannte Jahr (Stichtag 1.10.), für die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme jeweils das Folgejahr (Stichtag 1.10.)

EU Emission standards for HD Diesel Engines, g/kWh (smoke in m-1)

	EURO I	EURO II	EURO III		EURO IV		EURO V		EEV
Directive	91/542/EWG		1999/96/EG						
Year	1992/93	1995/96	2000/2001		2005/2006		2008/2009		
Test cycle [1]	ECE R-49		ESC & ELR	ETC	ESC & ELR	ETC	ESC & ELR	ETC	ETC
CO	4,9	4,0	2,1	5,45	1,5	4,0	1,5	4,0	3,0
HC	1,23	1,1	0,66		0,46		0,46		0,4
NMHC				0,78		0,55		0,55	
Methane				1,6 [3]		1,1 [3]		1,1 [3]	0,66
NOx	9,0	7,0	5,0	5,0	3,5	3,5	2,0	2,0	2,0
PM	0,4	0,5	0,10/ 0,13 [2]	0,16[4]	0,02	0,03 [4]	0,02	0,03 [4]	0,02
Smoke	-		0,8 m^{-1}	-	0,5 m^{-1}	-	0,5 m^{-1}	-	0.15 m^{-1}

[1] ECE R-49 is the old steady-state engine test cycle, which is to replaced by two cycles: a stationary cycle ESC (European Stationary Cycle) for all diesel engines and a transient cycle ETC (European Transient Cycle) for all diesel engines with after treatment and for all gas engines. Smoke opacity is measured on the ELR (European load Response) test.

[2] for engines of less than 0.75 dm3 swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min^{-1}

[3] for for gas engines only

[4] for diesel engines only

Figur 1 Emissionsgrenzwert-Entwicklung

Ergänzend wurde ein EEV-Standard (Enhanced Environmentally-friendly Vehicle) definiert. Dieser ist nicht verbindlich, sondern hat zum Ziel, eine einheitliche Definition von „erhöhter Umweltfreundlichkeit" festzulegen, vor allem um die steuerlichen Anreize in den EU-Mitgliedsländern zu vereinheitlichen.

Absehbare Dieselbus-Technologien

Für die Einhaltung der Euro-4 bzw. Euro-5 Grenzwerte müssen sich die Hersteller von grossen Nutzfahrzeug-Dieselmotoren zwischen den Strategien „innermotorisch tiefe NO_x-Emissionen" oder „innermotorisch tiefe Partikelemissionen" entscheiden. Die geforderten Emissionsgrenzwerte können danach mit dem entsprechenden Abgasnachbehandlungssystem erreicht werden. Es scheint, dass mit der ersten Strategie, d. h. einer Kombination aus Partikelfilter (CRT) und Abgasrückführung (AGR), Euro-4 noch zu schaffen ist, während das NO_x -Niveau von Euro-5 mutmasslich nicht mehr erreichbar wird. Es zeichnet sich deshalb ab, dass die Grosszahl der Hersteller die zweite Lösung, d.h. die $DeNO_x$ Technik mittels selektiver katalytischer Reduktion (SCR) bevorzugen. Das hat insbesondere bezüglich des Treibstoffverbrauchs Vorteile gegenüber der Partikelfiltertechnik. Diese primär auf Lastwagen ausgerichtete Technologie scheint auch für die Linienbusse vorgesehen zu sein. Jedenfalls sind die Hersteller daran interessiert, für ihre Motorenpalette eine einzige Strategie zu fahren.

Technisch bedeutet die **SCR-Technologie** folgendes: Über eine vor dem keramischen SCR-Kat platzierte Düse wird als Reduktionsmittel Harnstoff in den heissen Abgasstrom dosiert zugegeben. Durch die Hitze entsteht Ammoniak, der im Kat die Stickoxide (NO_x) zu Stickstoff (N_2) und Wasser umwandelt. Die Dosierung des Harnstoffes wird laufend an die vom Betriebszustand des Motors abhängige NO_x-Konzentration im Abgas angepasst. Die SCR-Technologie produziert also hohe NO_x-Rohemissionen, die dann durch Nachbehandlung um 65-90% reduziert werden, während die Partikelemissionen innermotorisch abgesenkt werden.

Im Falle der Linienbusse sind in den letzten Jahren Partikelfilter praktisch zur (informellen) Pflicht geworden. Entsprechend konnte das PM-Niveau markant abgesenkt werden. Die SCR-Technologie ist demgegenüber darauf ausgelegt, ohne PM-Filter auszukommen und gleichwohl die Grenzwerte Euro-4/-5 einhalten zu können. Es ist aber absehbar, dass bei Linienbussen auch von künftigen Fahrzeugen – trotz bzw. ergänzend zur SCR-Technologie – eine weitere Absenkung der Partikel gefordert wird. Diese wird auch als **SCRT-Technologie** bezeichnet. Bei diesem System wird dem SCR-System ein CRT-Partikelfilter (Continuousely Regenerating Technology) vorgeschaltet. Im CRT-System durchströmen die Abgase des Dieselmotors zunächst einen Oxidationskatalysator, im dem die Schadstoffe CO und HC fast vollständig aufoxidiert werden. Gleichzeitig wird in Abhängigkeit von den Temperaturverhältnissen NO_x teilweise zu NO_2 umgewandelt. Dieses NO_2 verbindet sich im Russfilter mit dem Kohlenstoff (Russ) zu CO_2 (es wird also eine Mindestmenge an NO_x benötigt), wobei das NO_2 teilweise wieder zu NO reduziert wird. Mit SCRT können die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC), Feinstaub (PM) und NO_x gleichzeitig deutlich reduziert werden (75-90%).

Ob bei den Bussen tatsächlich die SCR-Technologie eingesetzt wird oder ob allenfalls doch der alternative Pfad (CRT + AGR) verfolgt wird, scheint derzeit noch nicht völlig klar. Ein strategischer Vorteil bei diesem zweiten Ansatz wäre, dass kein zusätzliches Reduktionsmittel (Harnstoff) notwendig ist, was den Betrieb vereinfachen (und verbilligen) würde. Auch wird geltend gemacht, die Nachrüstung bestehender Fahrzeuge mit dieser Technik sei möglich (Pütz 2004).

Weil zu erwarten ist, dass die Partikel-Problematik aus lufthygienischer Sicht auch in den nächsten Jahren ein wichtiger Problempunkt bleiben wird, gehen Experten (beispielsweise des VDV) davon aus, dass in einigen Jahren – wenn einmal ein Euro-6-Standard in Kraft treten wird, der aber noch nicht definiert ist – diese beiden Technologie-Pfade sich vereinigen werden, weil dannzumal alle technischen Mittel (SCR, AGR, PF) für die Einhal-

tung der Grenzwerte nötig sein werden. Begründet wird dies vor allem mit dem Hinweis auf die Feinpartikel: Heute ist die Partikelmasse begrenzt; mit Blick auf die gesundheitlichen Auswirkungen verdichten sich die Hinweise, dass es vor allem die Anzahl der Feinstpartikel ist, welche es zu eliminieren gilt. Deshalb dürfte es eine Frage der Zeit sein, dass alle Busse mit Partikelfiltern ausgerüstet sein werden. Und weil in Basel heute schon alle Busse mit Partikelfiltern ausgerüstet sind, gehen wir davon aus, dass in einer Strategie „Dieselbus" nur Busse mit Partikelfiltern beschafft würden; zudem unterstellen wir VERT-zertifizierte Filter, also keine offenen Systeme mit reduziertem Wirkungsgrad. Weil die SCR-Technologie sich wohl schneller verbreiten wird, werden wir im Folgenden nur noch von dieser Technologie ausgehen. Mit einer solchen Variante wäre zumindest bei den Partikeln ein EEV-Standard erreichbar, während Euro-5 auch ohne Partikelfilter erreicht würde. Allerdings ist auch beim EEV-Standard die Zahl der Partikel noch kein Thema, weil die Messmethodik noch nicht abschliessend definiert ist. Darum sind auch erst wenig empirische Grundlagen zu dieser Thematik (Messungen der Zahl der Partikel bzw. der Grössenverteilung) vorhanden.

Das **Dilemma** dahinter: Zum heutigen Zeitpunkt sind noch keine solchen Fahrzeuge verfügbar. Und über Prognosen, wann dies der Fall sein wird, sind zur Zeit unterschiedliche Antworten erhältlich: dem Vernehmen nach sind in Deutschland solche Systeme per 2007 angekündigt (MAN, Evobus). Von Importeuren in der Schweiz sind keine solchen konkreten Hinweise erhältlich, allerdings wird darauf hingewiesen, dass intensiv an dieser Entwicklung gearbeitet werde, da der Druck auf die Hersteller, Partikelfilter zu installieren, europaweit hoch sei. Gleichzeitig wird erwähnt, dass das Hinzufügen eines Partikelfilters zu einem SCR-System technisch eine deutlich grössere Herausforderung darstellt als dies noch bei Euro-3-Fahrzeugen der Fall war. Wie sich das auf die Kosten (Anschaffung, Unterhalt) auswirkt, sei noch unklar.

Gasbus-Technologien

Die BVB haben einschlägige Erfahrungen mit Gasbussen, die nicht nur positiv sind. Bei den Gasbussen wurden allerdings in den letzten Jahren deutliche Fortschritte gemacht. Sie gelten heute als technisch zumindest soweit ausgereift, dass die Hersteller diese Motoren in ihre Standardprogramme aufgenommen haben, auch wenn der Marktanteil der Gasbusse sich noch immer im Prozentbereich bewegt. Gemäss SVGW (2005) machen die Gasbusse derzeit folgende Anteile aus: Schweden 5.8%, Frankreich 1.6%, Portugal 1.4%, Deutschland 1.0%, Italien 0.8%, Spanien, Finnland und Schweiz je 0.7%. Man kann davon ausgehen, dass sie deshalb auch eine gewisse „Marktreife" haben, auch wenn gewisse Hinweise bestehen, dass

sie im Vergleich zur Dieseltechnologie aufgrund der unterschiedlichen Ressourcen, die in diese Technologie gesteckt wurde bzw. wird, naheliegenderweise noch etwas im Rückstand liegen[2]. Weil die ökologische Performance Hauptmotivation des Gasbus-Einsatzes ist, sollte mit Gasbussen das ambitiösere Ziel des EEV-Standards verfolgt werden. Dazu liegen heute zwei mögliche Konzepte vor:

› **CNG (Erdgas), stöchiometrisches Konzept mit 3-Weg-Katalysator**: Die stöchiometrische Verbrennung (Lambda = 1) läuft bei hohen Temperaturen ab und zeichnet sich meist durch niedrige Emissionswerte, jedoch auch eher niedrigen Wirkungsgrad aus. Neuere Studien zeigen aber widersprüchliche Resultate (VTT 2004), d.h. die Emissionen eines stöchimetrisch ausgelegten Motors scheinen nicht zwangsläufig immer tiefer zu liegen als die eines Mager-mix-Motors.

› **CNG (Erdgas), Mager-mix-Motor mit 3-Weg-Katalysator**: Dieser Motor läuft bei moderater Auslastung und Geschwindigkeit mit stöchiometrischer Verbrennung. Bei hohem Drehmoment wird jedoch auf Verbrennung mit Luftüberschuss (mager) umgeschaltet um die Verbrennungstemperatur zu reduzieren. Aus technischer Sicht würde man deshalb erwarten, dass dieser Motorentyp effizienter ist, d.h. weniger Energie konsumiert.

Um den Vergleich nicht unnötig kompliziert zu machen, gehen wir im Folgenden vom stöchiometrischen Konzept aus.

Trolleybusse

Die Trolleybusse in Basel wurden aufgrund des Umstands eingeführt, dass während des Zweiten Weltkriegs flüssige Brenn- und Treibstoffe Mangelware waren, während elektrische Energie verfügbar war. Anfänglich verkehrten die Trolleybusse zu günstigeren Bedingungen. In den fünfziger und sechziger Jahren wurde deshalb wiederholt der Ausbau des Trolleybusnetzes verlangt. Seit Ende der 60er Jahre verkehrten auf den Linien 31, 33 und 34 Trolleybusse. Seitdem vor einigen Jahren die Linien 34/37 bzw. 33 restrukturiert wurden, verkehren Trolleys lediglich noch auf der Linie 31. Auf einigen Netzabschnitten bestehen die Oberleitungen zwar noch, werden aber nicht mehr genutzt. Speziell im Fall Basel ist der Umstand, dass die derzeit im Verkehr stehenden Trolleybusse kein „Standard-Produkt" sind. Vielmehr handelt es sich um Fahrzeuge, die bei der Beschaffung über innovative Elemente verfügten (Radnabenmotoren), die heute aber aufgrund der mangelnden Breitenverfügbarkeit das Schicksal von Unikaten erleiden (mangelnde Ersatzteile u.a.m.).

2 Als Beispiele mag man die Probleme mit Luftmengenmessern in Olten oder Vaduz erwähnen, welche von Seiten der Betreiber einen gewissen Pragmatismus verlangten. Diese Probleme seien inzwischen aber von Herstellerseite gelöst.

Europaweit sind Trolleybusse heute in rund 173 Städten anzutreffen (zit. nach Regionale Schienen 2004). Allerdings kann man kaum behaupten, Trolleybusse seien derzeit im Vormarsch. Allenfalls wird – wo Trolleybusse bereits bestehen – das System beibehalten und punktuell ergänzt. Eigentliche Ausbauten sind eher die Ausnahme (etwa die Stadt Salzburg). Es wird nicht bestritten, dass die erhöhten Kosten ein wichtiger Hemmnisfaktor sind, da Trolley-Systeme einerseits eine eigene Zusatzinfrastruktur bedingen (Oberleitungen), und andererseits die Fahrzeuge bei der Beschaffung markant teurer sind als vergleichbare Busse mit Verbrennungsmotoren. Es braucht deshalb spezielle Voraussetzungen, dass Trolleybus-Systeme wirtschaftlich werden, nämlich auf Linien mit hohem Fahrgastaufkommen bzw. dichten Intervallen, bei dem sich die Investitionen in die Infrastruktur auf viele FzKm verteilen lassen, und wo sich gleichzeitig noch grössere Investitionen in ein Tramsystem nicht rechnen.

2.3.2. BIOGENE TREIBSTOFFE

Die Verknappung fossiler Brenn- und Treibstoffe ist ein Faktum, ungewiss ist lediglich der Zeitpunkt des Eintretens. Die Frage der Verfügbarkeit von Treibstoffen spielt deshalb auch bei einem Flottenentscheid eine gewisse Rolle, selbst wenn die Menge, welche ein städtisches ÖV-Unternehmen benötigt, gemessen am z.B. schweizweiten Verbrauch an Treibstoffen relativ gering ist. Elemente wie Vorbildfunktion für eine nachhaltige Mobilität werden dabei geltend gemacht. Deshalb soll aufgezeigt werden, wie biogene Treibstoffe in die Szenarien passen. Grundsätzlich sind die biogenen Treibstoffe aus Klima-Optik attraktiv, weil deren Verbrennung im Motor nicht mehr vom Treibhausgas CO_2 (Kohlendioxid) freisetzt als die verarbeiteten Pflanzen während ihres Wachstums zuvor gebunden hatten. Allerdings bestehen zur Ökobilanz der verschiedenen biogenen Treibstoffe zum Teil widersprüchliche Angaben. Wie viel Treibhausgase anzurechnen sind, hängt von den sog. Vorprozessen ab, d.h. wie viel Energie bei der Produktion (inkl. Ernte und Distribution) investiert werden musste bzw. wie viele Schadstoffe dabei emittiert wurden.

Konkret bestehen im Fall der BVB zwei Möglichkeiten zum Einsatz von biogenen Treibstoffen, Biodiesel und Biogas. Im Rahmen von Sensitivitätsbetrachtungen wird in den nachstehenden Kapiteln auf die finanziellen und ökologischen Auswirkungen eingegangen werden:

Biodiesel

Biodiesel ist ein Kraftstoff mit ähnlichen Eigenschaften wie Diesel, wird jedoch nicht aus Erdöl, sondern aus Pflanzenöl (z.B. aus Raps) gewonnen und ist daher ein erneuerbarer Energieträger. Durch Veresterung des Pflanzenöls mit Methanol entsteht Methylester (z.B. Rapsmethylester, RME). Biodiesel kann bis zu 5% Mengenanteil unbedenklich dem normalen Diesel beigemischt werden (vgl. DIN EN 14214; gilt seit 2004 europaweit). Bei grösseren prozentualen Anteilen bedarf es einer Freigabe des Herstellers für den jeweiligen Motor bzw. Umrüstungen empfindlicher Teile der Kraftstoffleitungen. Das Energieäquivalent von RME beträgt 0.91 l Diesel.

Biogas

Biogas entsteht bei der nicht-alkoholischen Vergärung pflanzlicher Bestandteile, vor allem aus Haus- oder landwirtschaftlichen Abfällen. Um aus Biogas ein dem Erdgas, das zu 80 bis 95% aus Methan besteht, vergleichbaren Treibstoff zu machen, muss es gereinigt und aufbereitet werden. Vorteilhaft ist, dass Biogas in beliebigem Verhältnis mit Erdgas vermengt werden kann. Damit könnte eine allfällige Knappheit an Biogas mit relativ geringem Aufwand umgangen werden. Der Energieinhalt eines kg Methans entspricht ca. 1.4 l Benzin-Äquivalent.

2.3.3. WASSERSTOFF / BRENNSTOFFZELLEN

Weil der Verkehr speziell von fossilen Treibstoffen abhängt und weil es gleichzeitig im Verkehr besonders schwierig ist, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, werden grosse Hoffnungen in die Wasserstoff-Technologie gesetzt, die in Kombination mit Brennstoffzellen zuweilen als Antrieb der Zukunft bezeichnet werden. In der Tat weist eine solche Technologie eine Reihe von Vorteilen auf: schadstofffreier Betrieb, im Prinzip die Herstellbarkeit (von Wasserstoff) aus nicht-fossilen Energiequellen und damit Schutz der fossilen Ressourcen und somit Klimaschutz. Es gibt allerdings eine Reihe von Vorbehalten, dass sich diese Hoffnung bereits kurzfristig in Realität umsetzen liesse:

› Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologie sind in ihrer Kombination sehr wirksam. Allerdings ist in beiden Bereichen noch Entwicklungsaufwand nötig, um sowohl rein technisch als auch kostenseitig auch nur in 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 Wassserstoffelektrolyse) 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 Speicheroptionen 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 Verteilung via Lastwagen oder Pipeline, andererseits die dezentrale Herstellung an der Tankstelle. Der Aufbau von Verteil- und Betankungsinfrastrukturen ist sehr kostspielig. Deshalb werden 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. Selbst Wasserstoff/ Brennstoffzellen-Promotoren sehen keine breitbandige Serieneinführung vor 2020 (HPF 2005).

Testfahrzeuge der Wasserstoff/Brennstoffzellen-Technologie sind auch im Bussektor weltweit recht häufig, was u.a. mit der öffentlichen Sichtbarkeit und damit viel mit PR-Wirkung zu tun hat. In Europa beispielsweise wurde in 10 europäischen Städten ein Demonstrationsprojekt mit Citaro-Bussen lanciert, weltweit sind eine Reihe weiterer Projekte am Laufen (wie etwa das GEF Fuel Cell program), die aber zum Teil aufgrund der hohen Kosten mit gewissen Anlaufschwierigkeiten konfrontiert sind, aufgrund derer einige geplante Projekte aufgegeben werden mussten.

Aufgrund dieser Ausführungen ist zu folgern, dass Brennstoffzellenbusse für Basel als Demonstrationsprojekt allenfalls ein Thema sein könnten, aber im Rahmen dieser Busevaluation in keiner Art und Weise eine Alternative darstellen.

2.4. KONKRETISIERUNG DER SZENARIEN

2.4.1. VORAUSSETZUNGEN

Bei der Definition der Szenarien wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

› Alle Szenarien sollen gleiche Linienstrukturen unterstellen, d.h. es wird keine Netzentwicklungsplanung betrieben, welche die Linienstrukturen auf existierende oder künftige Antriebsarten hin optimieren würde.

› Das Ersatzprogramm unterstellt gleiche Fahrzeugtypen, d.h. Gelenkbusse (GBus) werden durch Gelenkbusse ersetzt, Standardbusse (Std) durch Standardbusse.

› Die Szenarien sollen möglichst gleichwertig sein. Das bedeutet z.B. gleiche Annahmen bei der Reservehaltung und bei der Ausstattungsqualität der Busse (z.B. einheitlich mit Klimaanlagen ausgerüstet).

› Es werden jeweils gleichwertige neue Fahrzeuge unterstellt. Somit sollen nicht z.B. neue Dieselbusse alten Gas- oder Trolleybussen gegenübergestellt werden oder umgekehrt.

› Die Szenarien werden möglichst so definiert, dass die Intentionen der Promotoren der jeweiligen Position aufgenommen werden. Gleichzeitig sollen die Varianten soweit optimiert sein, dass sie nicht zum vorneherein mit augenfälligen Nachteilen (z.B. hohen Kosten) verbunden sind.

› Grundsätzlich soll sich die Planung auf das Gebiet des Kantons Basel-Stadt beziehen.

2.4.2. DEFINITION IM EINZELNEN

In Figur 1 sind die vier vorgeschlagenen Szenarien grafisch dargestellt. Die Figur zeigt den Bus-Bestand über die Zeitreihe (indikativ 2000 bis 2020), differenziert in Gruppen nach Antriebsart bzw. Alter. Die Balkenbreite entspricht jeweils der Anzahl Busse je Segment (dunkel = Gelenkbusse [Gbus], hell = 2-Achs-Standard-Busse [Std]).

Szenario 1 - Diesel

Bustyp	Anzahl	Baujahr	Ersatz	Ersatzart
D Gbus	38	2000	2015	38 D Gbus (Ersatz für D Gbus)
D Std	8	2000	2015	8 D Std (Ersatz für D Std)
Gas Std	12	1995	2008	12 D Std (Ersatz für Gas Std)
Trolley Gbus	8	1995	2008	8 D Gbus (Ersatz für Trolley Gbus)
D Gbus	6	1995	2008	6 D Gbus (Ersatz für D Gbus)
	72			

Szenario 2 - Gas

Bustyp	Anzahl	Baujahr	Ersatz	Ersatzart
D Gbus	38	2000	2015	38 Gas Gbus (Ersatz für D Gbus)
D Std	8	2000	2015	8 Gas Std (Ersatz für D Std)
Gas Std	12	1995	2008	12 Gas Std (Ersatz für Gas Std)
Trolley Gbus	8	1995	2008	8 Gas Gbus (Ersatz für Trolley Gbus)
D Gbus	6	1995	2008	6 Gas Gbus (Ersatz für D Gbus)
	72			

Szenario 3A - Trolley / Diesel

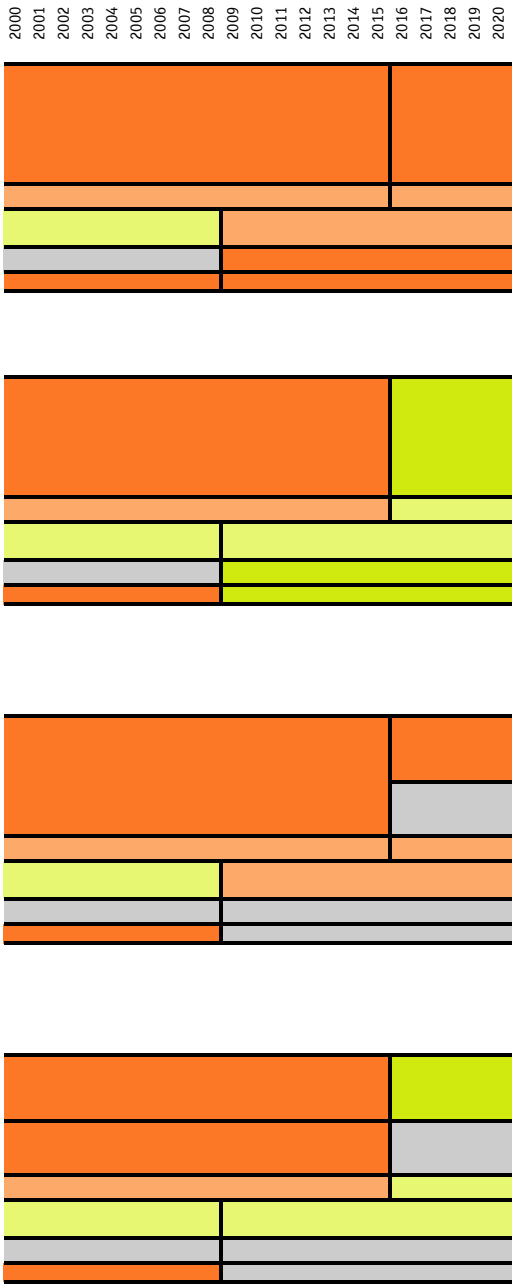
Annahme: L30/L31/L36 mit Trolley

Bustyp	Anzahl	Baujahr	Ersatz	Ersatzart
D Gbus	38 (22+16)	2000	2015	21 D Gbus (Ersatz für D Gbus)
				17 Tr Gbus (Ersatz für D Gbus)
D Std	8	2000	2015	8 D Std (Ersatz für D Std)
Gas Std	12	1995	2008	12 D Std (Ersatz für Gas Std)
Trolley Gbus	8	1995	2008	8 Tr Gbus (Ersatz für Tr Gbus)
D Gbus	6	1995	2008	6 Tr Gbus (Ersatz für D Gbus)
	72			

Szenario 3B - Trolley / Gas

Annahme: L30/L31/L36 mit Trolley

Bustyp	Anzahl	Baujahr	Ersatz	Ersatzart
D Gbus	38 (22+16)	2000	2015	21 D Gbus (Ersatz für D Gbus)
				17 Tr Gbus (Ersatz für D Gbus)
D Std	8	2000	2015	8 Gas Std (Ersatz für D Std)
Gas Std	12	1995	2008	12 Gas Std (Ersatz für Gas Std)
Trolley Gbus	8	1995	2008	8 Tr Gbus (Ersatz für Tr Gbus)
D Gbus	6	1995	2008	6 Tr Gbus (Ersatz für D Gbus)
	72			



Figur 2 Illustration der Flottenzusammensetzung BVB in den vier Szenarien (Balkenhöhe = Anzahl Fahrzeuge, differenziert nach Antriebsarten; dunkler Farbton = Gelenkbus, heller Farbton = Standardbus; orange = Dieselbus [D], grün = Gasbus, grau = Trolleybus)

2.4.3. MENGENGERÜSTE

Für die Beurteilung der Auswirkungen ist neben dem Fahrzeugbestand auch die Fahrleistung von Bedeutung. Wir rechnen dabei mit einer einheitlichen Fahrleistung von 60'000 km/a und Bus. Daraus ergibt sich das Mengengerüst gemäss nachstehender Tabelle:

	Szenario 1: Diesel		Szenario 2: Gas		Szenario 3A: Trolley/Diesel		Szenario 3B: Trolley/Gas	
Anz. Busse	Phase I (2008)	Phase II (2015)	Phase I (2008)	Phase II (2015)	Phase I (2008)	Phase II (2015)	Phase I (2008)	Phase II (2015)
Diesel-Gelenk	14	38				21		
Diesel-Standard	12	8			12	8		
Gas-Gelenk			14	38				21
Gas-Standard			12	8			12	8
Trolley-Gelenk					14	17	14	17
Total Beschaffung	26	46	26	46	26	46	26	46
Total Bestand		72		72		72		72
Fzkm (in Mio/a)								
Diesel	1.56	2.76			0.72	1.74		
Gas			1.56	2.76			0.72	1.74
Trolley					0.84	1.02	0.84	1.02
Summe je Phase	1.56	2.76	1.56	2.76	1.56	2.76	1.56	2.76
Total nach Phase I		4.32		4.32		4.32		4.32

Tabelle 2 Mengengerüste (Anzahl Fahrzeuge und Fahrleistungen; Annahme: pro Bus durchschnittlich 60'000 km/a)

2.5. KOMMENTARE ZU DEN SZENARIEN

2.5.1. SZENARIO 1 UND 2

Szenario 1 und Szenario 2 sind klar definierbar: Im Dieselszenario werden alle Abgänge durch Dieselfahrzeuge ersetzt. Analog werden im Gas-Szenario alle Abgänge durch Gas-Fahrzeuge ersetzt. Neu für Basel wäre im Gas-Szenario, dass auch Gas-Gelenkbusse verkehren würden.

2.5.2. SZENARIO 3A UND 3B

Die Trolleybus-Szenarien 3A bzw. 3B können nicht ohne Bezug zu den Linien erörtert werden, auf denen künftig Trolleybusse eingesetzt werden könnten. Der Wortlaut der Trolleybus-Initiative „Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung“ gibt dafür einen gewissen Interpretationsspielraum. Die nachstehende Tabelle gibt die Kenngrössen zu verschiedenen Linien, die grundsätzlich auf Trolleybus umgestellt werden könnten, ohne dass die heutigen Linien neu strukturiert werden müssten.

LINIENKENNGRÖSSEN POTENZIELLER TROLLEYBUS-LINIEN								
Linien		Fahr-zeit	Wende-zeit	Umlauf-zeit	Intervall	Fzg-Bedarf	Länge km	Kurskm/a 2006[3]
L30	Bahnhof SBB - Bad. Bahnhof	16	5	42	7.5	6	4.4	398'000
L31 (T'bus)	Claraplatz – Habermatten	13	5	36	7.5	5	4.9	454'000
L33	Schifflände – Schönenbuch (bis Dez 2005: bis Wanderstr.)	29 (14)	4	66 (36)	7.5/15/30 (7.5)	7 (5)	10.0 (3.8)	563'000 (450'000)
L36	Schifflände - Kleinhüningen	53	5	116	7.5	16	16.0	1'388'000
Total alle Linien								2'627'000
Total Linien 30, 31, 36								2'177'000

Tabelle 3

Im Folgenden wird das Trolley-Szenario 3 (3A oder 3B) so ausgelegt, dass zusätzlich zur bestehenden Linie 31 neu auch die Linien 30 und 36 umgestellt werden, nicht aber die Linie 33 (vgl. erläuternden Text weiter unten). Im Szenario 3 werden somit knapp 2.2 Mio. FzKm/a (von den insgesamt 4.3 Mio. Buskm der BVB) mit Trolleybussen zurückgelegt. Weil absehbar ist, dass die Umstellung der Ringlinie 36 auf Trolleybetrieb mit grösseren Investitionen verbunden ist, wird zusätzlich eine Sensitivitätsbetrachtung angestellt, indem lediglich Linie 30 zusätzlich umgestellt wird, welche mit deutlich geringeren Investitionen auskommt.

Implikationen auf den Fahrzeugbedarf im Trolleybus-Szenario

L30, 31 und 36 benötigen insgesamt 27 Fahrzeuge, zusätzlich wird eine Reserve von 15% (= 4 Fahrzeuge) unterstellt, damit liegt der Bedarf in Szenario 3 bei 31 Trolleybussen. Figur 2 zeigt, dass die Linie 36 sinnvollerweise erst ab 2015 auf Trolleybetrieb umgestellt wird, da ansonsten Diesel-Gbusse vorzeitig ausgemustert und durch Trolleybusse ersetzt werden müssten (oder aber ein unzweckmässiger Mischbetrieb auf der Linie 36 gefahren werden müsste). Szenario 3B wird also erst ab 2015 ein Zweispartenbetrieb.
Bezüglich Reserve wird vereinfachend unterstellt, dass im Zeitpunkt 2008 14 Trolleybusse beschafft würden, weil 2 „Tranchen" (8 Trolley und 6 Diesel) günstig und einheitlich ersetzt werden können. Die Reserve bleibt damit gleich gross(zügig) wie heute (rechnerischer Trolley-Bedarf heute: 5 Fahrzeuge, bestehende Trolley-Flotte: 8 Fahrzeuge, d.h. 3 Reservefahrzeuge). Im Zeitpunkt 2015 wird lediglich 1 zusätzliches Reservefahrzeug beschafft[4].
Es besteht zudem ein weiterer Konnex zwischen Linien und Mengengerüst: das in Tabelle 2

3 Planzahlen 2006
4 An sich könnte man im Zeitpunkt 2008 lediglich 2 Reserve-Fahrzeuge und dann dafür im Jahr 2015 die 2 zusätzlich nötigen Reserve-Fahrzeuge beschaffen; wir verzichten hier auf diese Subtilität.

ausgewiesene Mengengerüst erwartet in Phase 1 eine Trolleybus-Fahrleistung von 0.84 Mio. FzKm, was etwa den Linien 30+31 entspricht. Für Phase 2 werden rund 1.86 Mio. FzKm ausgewiesen (unter Annahme von 60'000 km/Bus), was für die zusätzliche Linie 36 unzureichend wäre. D.h. in Phase 2 müsste mit einer etwas höheren Fahrleistung pro Bus gerechnet werden.

Implikationen auf die Infrastruktur im Trolley-Szenario:

Die Umstellung der Linie 30 bedingt die Elektrifizierung des Abschnitts Spalentor – SBB (ca. 1 km). Die Umstellung der Linie 36 ist markanter, da dazu rund 16 km mit Oberleitungen versehen werden müssten (Details folgen im nachstehenden Kapitel).

2.5.3. ELEKTRIFIZIERUNG DER LINIE 33 ?

Seit Dezember 2005 verkehrt die Linie 33 bis Schönenbuch (früher lag der Endpunkt bei der Haltestelle Wanderstrasse). Eine Elektrifizierung ist zwar grundsätzlich denkbar, sie wäre aber mit grossen Nachteilen verbunden, die eher ein Argumentarium gegen die Trolley-Initiative bilden würde, weshalb an dieser Stelle auf eine Elektrifizierung verzichtet werden soll. Die Hauptgründe für dieses Vorgehen sind:

› Grosser Elektrifizierungs- und somit Finanzierungsbedarf (ab Wanderstrasse bis Schönenbuch).
› Dieser Abschnitt mit Elektrifizierungsbedarf liegt auf Boden des Kantons Basel-Landschaft. Die Finanzierung durch den Kanton Basel-Landschaft ist allerdings unwahrscheinlich, da klare Signale gegen Trolleybus vorliegen[5].
› Es ergibt sich ein zusätzlicher Elektrifizierungsbedarf auf dem Abschnitt Frauenspital – Schifflände.
› Hohe Betriebskosten wegen ungünstigen Umläufen: 7.5′ Intervall auf der Stammlinie, aber 15′ Intervall auf dem Ast ab Wanderstrasse. Die Fahrlagen von Gelenk – und Standardbus passen dabei nicht aufeinander, so dass sich daraus ein kostspieliger Betrieb ergäbe.

5 Gemäss Auskunft des Amtes für Raumplanung des Kantons Basel-Landschaft, Abteilung Öffentlicher Verkehr, hat BL kein Interesse an der Einführung von Trolleybus-Linien und auch kein Interesse, sich an grenzüberschreitenden Linien zu beteiligen (Auskunft vom 7.2.2006).

3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

3.1. METHODIK

Methodisch machen wir einen Vergleich anhand von **Jahreskosten**. Dabei interessieren primär die **Differenzen** zwischen den verschiedenen Varianten. Die im Folgenden präsentierten Werte beinhalten kalkulatorische Rechnungselemente (z.B. die Kapitalkosten der Fahrzeuge und der zusätzlichen Infrastrukturinvestitionen). Diese werden aufgrund der Investitionen bzw. des Neuwertes mittels der Annuität ermittelt. Die Annuität ist ein über eine bestimmte Nutzungsdauer gleich bleibender Betrag, der die Abschreibungen und die Verzinsung des eingesetzten Kapitals abdeckt. Die Kosten werden in CHF/a ausgedrückt und erlauben eine grobe Hochrechnung für die absoluten Jahreskosten. Es werden folgende Kostenelemente unterschieden:

- Fahrzeugkosten, bestehend aus
  - Kapitalkosten für die Fahrzeuge
  - Energiekosten (differenziert nach „Ressourcen" bzw. Mineralöl- bzw. MW-Steuern)
  - Wartungs- und Unterhaltskosten
- Tankanlage (im Falle der Gasbusse), bestehend aus
  - Kapitalkosten
  - Betriebs- und Unterhaltskosten
- Oberleitungskosten (im Falle der Trolleybusse), bestehend aus
  - Kapitalkosten
  - Betriebs- und Unterhaltskosten
- Garage-(Zusatz)kosten[6], bestehend aus
  - Kapitalkosten
  - Betriebs- und Unterhaltskosten

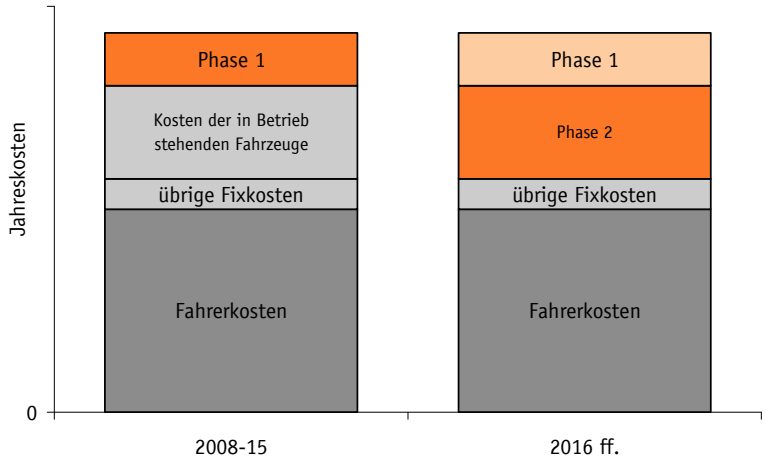
Ziel ist es, **Differenzkosten** zwischen den Szenarien auszuweisen. Auch wenn das Interesse den *Differenzen* gilt, zeigen wir gleichwohl – wenigstens für den Fahrzeugteil – Vollkosten auf, um die Differenzen zwischen den Varianten in Relationen zu den (Fahrzeug)-Gesamtkosten zu stellen. Daneben fallen aber weitere Kosten an (Fahrerkosten, weitere fixe Kosten wie Administration, Infrastruktur etc.). Diese werden in allen Varianten als gleich unterstellt und sind deshalb nicht entscheidungsrelevant. Diese Beschränkung verzerrt das Bild, denn allein die Fahrerkosten machen rund zwei Drittel der Gesamtkosten aus. Das zeigt,

6 Es wird nur berücksichtigt, welche Zusatzinvestitionen gegenüber der heutigen Abstellanlage anfallen.

dass wir hier keine Rentabilitätsrechnung machen. Auch entsprechen diese Kostenangaben deshalb nicht den Kosten in TU-Offerten.

Im weitern machen wir diese Kostenrechnung getrennt für die zwei Phasen: Im Zeitraum 2008-2015 fallen die Fahrzeugkosten von Phase 1 an, im Zeitraum 2016 ff. zusätzlich jene von Phase 2, so dass die Gesamtkosten ab 2016 aus der Summe von Phase 1 und 2 bestehen. Das Schema in Figur 3 zeigt, wie die im Folgenden präsentierten Zahlen zu interpretieren sind, sie entsprechen den orange eingefärbten Flächen.

SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER KOSTENBERECHNUNGEN



Figur 3

An dieser Stelle muss auch darauf hingewiesen werden, dass die Unsicherheiten bei verschiedenen Kosten-Komponenten erheblich sind, aus verschiedenen Gründen, z.B.

› weil neue und neueste – und zum Teil sich erst in Entwicklung befindliche - Technologien unterstellt werden (z.B. Dieselbusse mit SCR-Technologie und Partikelfilter [PF], d.h. SCRT-Technologie) und Praxis-Erfahrungswerte dazu fehlen,

› weil verschiedene Konzepte denkbar sind (z.B. bei der Betankung), die im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter konkretisiert werden können,

› weil Informationen oft nicht erhältlich sind, sondern sich Lieferanten bewusst bedeckt halten,

› und weil bei Preisangaben der Hersteller, aber z.B. auch der Treibstofflieferanten oft taktische Überlegungen mitspielen.

Je nach Komponente müssen deshalb Hintergrundinformationen gewürdigt und daraus Annahmen abgeleitet werden. Diese werden im Folgenden erläutert. Darauf aufbauend wird eine „Basisrechnung“ durchgeführt, in der die verschiedenen Varianten einander gegenübergestellt werden. Im Anschluss daran werden verschiedene kritische Annahmen variiert, um deren Einfluss auf das Ergebnis zu illustrieren.

3.2. ANMERKUNGEN ZU DEN EINZELNEN KOSTEN-KOMPONENTEN

3.2.1. BESCHAFFUNGSKOSTEN FAHRZEUGE

Bei den Beschaffungskosten werden folgende Annahmen unterstellt:

› Dieselbus (Gbus/Std.): 550'000 bzw. 400'000 CHF; Nutzungsdauer 15 Jahre.
Hinter diesen Preisen stehen Erfahrungswerte heute verfügbarer Busse (Diesel Euro-4, mit SCR-Technologie). Es ist zu erwarten, dass die Option Partikelfilter, die bei Euro-3 etwa mit 15 kCHF zu Buche schlug, bei Euro-5 wohl mindestens soviel wenn nicht mehr kosten wird. Weil keine verlässlichen Angaben dazu bestehen, gehen wir von den genannten Zahlen aus, und weil letztlich Differenz-Beträge interessieren, werden diese dort berücksichtigt.

› Gasbus (Gbus/Std.):
Die Kostendifferenz zu einem heute verfügbaren neuen Dieselbus (Gbus) liegt in der Grössenordnung von +60'000 bis 90'000 CHF. Wir unterstellen für die Basisrechnung eine Differenz von +65'000 CHF (in der Erwartung höherer Dieselbuspreise) bzw. +50'000 CHF; Nutzungsdauer 15 Jahre.

› Trolleybus (Gbus): 850'000 CHF; Nutzungsdauer 15 Jahre.
Heutige Trolleybusse liegen zwar eher bei 1 bis 1.1 Mio CHF, dafür sind sie für längere Lebensdauern konzipiert. In beiden Fällen resultieren aber ähnliche Jahreskosten von rund 75'000 bis 80'000 CHF[7].

› Als Zinssatz wird ein Wert von 4% unterstellt.

Neben diesen unmittelbaren Fahrzeugkosten wird zusätzlich je Serie ein Fixkostenblock (einerseits als Grundinvestition, andererseits als betriebsseitige Jahreskosten) unterstellt, welcher Komponenten abdeckt wie Ersatzteilgrundbedarf, serienspezifische Spezialwerkzeuge und Diagnosegeräte, bauliche und Software-Anpassungen etc. Bei Mehrspartenbetrieb erhöht sich dieser Fixkostenblock, wir unterstellen hier aber Synergieeffekte, zumal bei den dabei involvierten Personalkosten nur die variablen Kosten zu berücksichtigen sind.

7 Fall 1: Anschaffungskosten 850'000, Zinssatz 4%, Lebensdauer 15 Jahre -> Annuität: 76'450 CHF
Fall 2: Anschaffungskosten 1.050 Mio CHF, Zinssatz 4%, Lebensdauer 20 Jahre -> Annuität: 77'261 CHF

3.2.2. WARTUNGSKOSTEN

Verlässliche Angaben zu Wartungskosten sind aus zwei Gründen schwer ermittelbar: Einerseits sind Kostenkalkulationen zwischen verschiedenen Unternehmungen schwer vergleichbar, weil jede Unternehmung eigene Abgrenzungen macht. Andererseits werden neue Technologien miteinander verglichen, die zum Teil neue Wege beschreiten (bzw. im Fall Diesel noch gar nicht auf dem Markt sind) und zu denen noch keine Erfahrungen bestehen. Im Folgenden gehen wir von einem Referenzwert für den Dieselbus von 60 Rp./km aus. Dieser interessiert aber nicht als absolute Grösse, da dies abhängig ist davon, was alles zu den Wartungskosten gezählt wird. Wichtiger sind die **relativen Werte** der andern Technologien im Vergleich zum Dieselbus. In diesem Kontext sind deshalb nur die variablen Kostenkomponenten von Belang (die von den TU vorgelegten Zahlen basieren in der Regel auf Vollkosten, welche auch Fixkosten-Anteile enthalten; dadurch werden die geltend gemachten Differenzen tendenziell überhöht).

› Dieselbus:

Heute verfügbare Dieselbusse (Euro-4, SCR, ohne PF) verlangen nebst Diesel einen zweiten Betriebsstoff (Adblue, Harnstoff). Dieser muss etwa bei jeder 2. bis 3. Tankfüllung ebenfalls nachgefüllt werden. Erste Erfahrungen deuten darauf hin, dass dies betrieblich beherrschbar ist und keinen zusätzlichen Zeitaufwand erfordert (simultane Betankung). Hingegen muss die entsprechende Infrastruktur vorgehalten werden (Adblue-Tankstelle, vgl. 3.2.4). Wie weit Partikelfilter (in Kombination mit SCR-Technologie) Zusatzaufwand verursachen, ist schwer einzuschätzen. Weil bei den BVB alle Busse heute bereits mit Filtern ausgerüstet sind, gehen wir davon aus, dass dies keine nennenswerten Zusatzkosten verursacht.

› Gasbus:

Empirische Erfahrungen im Realbetrieb variieren stark: die BVB selber nennen Mehrkosten ihrer Gasbusse gegenüber Dieselfahrzeugen von +60 bis +80 Rp./km (je nach Bezugsbasis). Andere schweizerische TU nennen Werte in der Grössenordnung von +40 Rp./km. Erfahrungen aus Deutschland veranschlagen die Mehrkosten auf 14 bis 15ct (ca. 20 bis 25 Rp.), von einzelnen TU werden auch relative Werte von +20-25% genannt (bei Diesel-Referenzkosten von 60 Rp. entspricht das Mehrkosten von ca. 12-15 Rp.). Diese Vergleiche basieren oft auf Fahrzeugen, die schon einige Jahre alt sind, was der neuesten Technologieentwicklung bei den Gasbussen nicht unbedingt Rechnung trägt. Ein für den vorliegenden Vergleich relevanter Hinweis sind neueste Hinweise, die auf vergleichenden Herstelleranga-

ben im Kontext von Ausschreibungen basieren. Demnach variieren solche Mehrkosten zwischen 12 und 18 Rp./km. Wir unterstellen deshalb in der Basisrechnung einen Wert von +15 Rp./km. (In einer Sensitivitätsrechnung wird dieser Wert dann variiert).

› Trolleybus:

Die heutigen Trolleybusfahrzeuge der BVB mit Radnaben-Antriebstechnologie verursachen einen überaus hohen Wartungsaufwand. Weil es sich dabei um eine in der Praxis wenig erprobte Spezialtechnologie handelt, wie sie kein anderer Verkehrsbetrieb in der Schweiz kennt, war der Wartungsaufwand von Anfang an höher als bei bewährten Trolleybussen "ab Stange". Mit zunehmender Lebensdauer – die Fahrzeuge sind bereits 10 Jahre alt – nimmt zudem die Störungsanfälligkeit laufend zu und für die 8 Trolleybusse muss ein grosses, teures Ersatzteillager vorgehalten werden, weil Ersatzteile auf dem Markt nicht mehr erhältlich sind.

Im Zusammenhang mit der Ersatzbeschaffung gehen wir im Rahmen der Trolleybus-Szenarien davon aus, dass neu ein in der Praxis bewährter Trolleybustyp "ab Stange" gekauft wird (das gilt zumindest für die Antriebskomponenten). Das bedeutet, dass die spezifischen Wartungskosten pro Trolleybus-Kilometer tiefer liegen werden als bei den heutigen Trolleybussen. Weil der Trolleybus gegenüber einem Dieselbus aber einen höheren Anteil an wartungsintensiver Elektronik aufweist, werden die Instandhaltungskosten immer noch höher liegen als diejenigen eines Dieselbusses. Insbesondere die Fehlerdiagnose ist bei Elektromotoren deutlich aufwändiger als bei Dieselmotoren. Allerdings ist aufgrund der absehbaren Technologieentwicklung auch beim Dieselbus mit mehr Elektronik und damit von einem höheren Wartungsaufwand auszugehen.

Für die Basisrechnung nehmen wir an, dass die Wartungskosten beim Trolleybus um 20 Rp./km höher liegen als beim Dieselbus. Diese Grössenordnung erachten wir aufgrund der folgenden Vergleichsrechnung als plausibel: Wird die heutige Trolleybuslinie 31 auf Dieselbusbetrieb umgestellt, ergeben sich bei jährlich rund 450'000 km und einer Wartungskostendifferenz von 20 Rp./km Einsparungen im Unterhalt der BVB von 90'000 CHF pro Jahr, was ungefähr eine 100% Stelle in der Werkstatt bedeutet. Dies deckt sich mit der Einschätzung der BVB, dass durch die Umstellung der Linie 31 auf Dieselbetrieb ein bis maximal zwei Stellen im Fahrzeugunterhalt eingespart werden können (dies bei einem laut BVB deutlich überdurchschnittlich hohen Wartungsaufwand der heutigen Trolleybusflotte).

Vergleiche mit andern städtischen Verkehrsunternehmungen in der Schweiz bestätigen diese Einschätzung weitgehend:

› Bei einer vergleichbaren TU liegen die reinen Wartungskosten ohne werterhaltende Revisionen beim Trolleybus 10 Rp./km höher als beim Dieselbus. Mit Berücksichtigung der werterhaltenden Revisionen nach ungefähr der halben Lebensdauer erhöht sich die Differenz aufgrund der teuren Fahr- und Steuerungselektronik beim Trolleybus auf total 15 bis 20 Rp./km. Die für die Basisrechnung angenommene Differenz von 20 Rp./km liegt demnach an der oberen Grenze.
› Eine andere TU nennt Werte von +40 Rp./km, allerdings sind die für den Vergleich herangezogenen Trolleybusse rund 20 Jahre alt, während die Dieselbusse 5-jährig sind. Angesichts der über die Lebensdauer ansteigenden Störungsanfälligkeit muss ein altersbereinigter Vergleichswert klar darunter liegen.
› Eine dritte TU schliesslich nennt Werte in der gleichen Grössenordnung wie für Dieselbusse, das heisst, dass bei den Wartungskosten von Trolleybussen keine Mehrkosten gegenüber Dieselbussen entstünden.

3.2.3. ENERGIEKOSTEN

Energieverbrauch

Angaben zum Energieverbrauch variieren stark – insbesondere im Vergleich Dieselbus – Gasbus:

› Die Basler Verkehrsbetriebe nennen für Gelenkbusse 64 L/100km, für Diesel-Standardbusse rund 51 L/100 km und für den Standard-Gasbus entsprechend 51 kg/km. Letzteres macht energetisch einen Mehrverbrauch von rund 30% aus, CO_2-mässig hingegen ist das praktisch neutral (vgl. Umrechnungen in Annex 1).
› Eine neuere Untersuchung von SVGW (2005) macht eine CO_2-Einsparung von 5-10% geltend, was einem energetischen Mehrverbrauch von rund 20 bis 25% entspricht.
› Die Verkehrsbetriebe von Frankfurt an der Oder nennen demgegenüber für Gelenkbusse einen vergleichsweise tiefen Jahresmittelwert (2004) von nur 49.2 kg/100 km[8]. Sie weisen gleichzeitig auf die Bedeutung der Fahrerschulung mit markanten Einsparpotenzialen hin.
› Die Angaben zum Energieverbrauch bzw. CO_2-Emissionen in VTT (2004) streuen stark und weisen sowohl CO_2-seitige Mehr- wie Minderverbräuche aus.
› IVECO geht als grobe Faustregel von CO_2-Neutralität aus[9], was einem energetischen Mehrverbrauch von rund 30% entspricht.

8 Persönliche Mitteilung Hr. Huwe SVF (April 2005).
9 Persönliche Mitteilung Hr. Signer IVECO (März 2005).

› Bei einer Testmessung von BERNMOBIL (MAN Gelenkbus) wurde ein Verbrauch von 65 kg/100 km gemessen. Im Vergleich zu den Flottenverbrauchswerten neuerer Dieselbusse (von ca. 60 L/100 km)[10] entspricht dies einem Mehrverbrauch von 40% (oder 5% Mehr-Emission an CO_2).

Für die Berechnung der Energiekosten gehen wir im Folgenden von CO_2-Neutralität aus, was einem energetischen Mehrverbrauch von 30% durch Gasbusse entspricht (Konkret: 64 resp. 51 L/100 km bei einem Diesel-Gbus bzw. Standardbus, entsprechend den heutigen Verhältnissen bei den BVB).

Für den Energieverbrauch eines neueren Trolleybusses übernehmen wir den Mittelwert der Flotte von BERNMOBIL von 2.1 kWh/km [11] (inkl. Rekuperation).

Energiekosten

Bei den Energiekosten werden folgende Annahmen getroffen (Details in Annex 1):

› Diesel: Tankstellenpreis von CHF 1.60/l für Private bzw. CHF 1.01/l für KTU, wovon 17 Rp. Mineralölsteuer.

› Gas: Gaspreis von CHF 1.56/kg für Private bzw. CHF 0.87/kg für KTU, wovon 18 Rp. Mineralölsteuer.

› Strom: Annahme von 0.11 CHF/kWh

Diese Annahmen entsprechen dem heutigen Preisniveau. Bei Gas (CNG, Biogas) sind Änderungen bei der Mineralölsteuer beschlossen. Darauf wird in Abschnitt 3.4 (Sensitivitäten) weiter eingegangen.

3.2.4. TANKANLAGE

Die Frage der Tankanlage stellt sich vor allem bei der Variante Gasbus. Doch auch beim Diesel-Szenario verändert sich die Betankung:

› Im Diesel-Szenario fallen selbstredend keine Investitionskosten in die Gasbetankung an (allenfalls Desinvestitionen für den Rückbau der jetzigen Anlage, was aber vernachlässigbar sein dürfte), hingegen entfallen Wartungskosten der Gastankstelle gegenüber heute. Diese Minderkosten werden in Phase 1 mit –20'000 CHF berücksichtigt (gilt auch für Trolley/Diesel-Szenario). Neu muss jedoch bei SCR-Technologie eine zusätzliche Infrastruktur

10 Die BVB-Gelenkbusse verbrauchen 64 l/100 km.

11 Persönliche Mitteilung Hr. Maurer BERNMOBIL (Oktober 2005). Gemäss EBP 1995 betrug der Wert in SG Anfang der 90er Jahre 2.8 kWh/km.

für die Betankung mit Adblue bereitgestellt werden. Die Kosten veranschlagen wir auf rund 100 kCHF[12].

› Im Gasbus-Szenario ist in Phase 1 mit total 26 Bussen (=+14 gegenüber heute 12), in Phase 2 mit weiteren 46 Bussen zu rechnen. Bereits für Phase 1 muss eine zusätzliche Anlage am gleichen Standort erstellt werden (Angabe IWB ca. 0.5 Mio CHF). Für Phase 2 muss aus Gründen der Versorgungssicherheit (Redundanz) eine weitere Anlage in Betracht gezogen werden. Die Ideen von IWB gehen in Richtung Alternativstandort (z.B. KVA), um die Anlage auch andern Nutzern zur Verfügung zu stellen. Aus Sicht BVB ist dies kein gangbarer Weg, vielmehr ist der Standort Rankhof „gesetzt". Die Kosten für einen Ausbau hängen allerdings stark vom Konzept ab. Zu befinden wäre etwa über Schnell- vs. Langsambetankung, über Innen- vs. Aussenbetankung, der Aufwand für eine zweite Zuleitung, die örtlichen Randbedingungen und Möglichkeiten müssten geklärt werden etc. Das hat auch Implikationen auf die Garagierung, weil die Anforderungen im Fall einer Innenbetankung wesentlich höher sind als eine reine Garagierung. Erfahrungen aus der laufenden Evaluation in Bern jedenfalls zeigen, dass die von IWB genannten Zahlen (Grössenordnung 1 Mio. CHF) die nötigen Investitionen wohl unterschätzen. Aufgrund von Vergleichswerten müsste man eher mit 3 bis 4 Mio CHF rechnen. Aufgrund dessen unterstellen wir für Phase 1 in der Basisrechung 0.5 Mio CHF, zusätzlich 3 Mio. CHF für Phase 2.

› Annahmen zu den Betriebs- und Unterhaltskosten für die Tankanlage:
  › Heute 20'000 CHF/a,
  › Zweite Anlage Standort Rankhof: weitere 20'000 CHF/a,
  › Erweiterte Anlage: weitere 40'000 CHF/a (bzw. 30'000 CHF/a im Szenario 3B Trolley/Gas).

3.2.5. OBERLEITUNG

Aufgrund der Bedeutung dieser Kostenkomponente wurde hier ein spezieller Schwerpunkt in der Bearbeitung gesetzt[13]. Gestützt auf eine Begehung wurden die beiden zu untersuchenden Linien 30 und 36 von der Befestigung und dem Tragwerk her in charakteristische Abschnitte eingeteilt (vgl. dazu separaten Technischen Annex mit den detaillierten Einschätzungen). Unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten mehrerer Transportunternehmungen wurden die nachstehenden Richt-Ansätze verwendet. Sie unterliegen einer grösse-

12 Annahme: Ersatz der heutigen 4 Zapfsäulen, CHF 20'000 pro Zapfsäule, x 4 + Verrohrung
13 Bearbeitung vor allem durch Büro 3B AG, Bern

ren Streuung und sind jeweils für die konkrete Situation zu überprüfen. Dies gilt auch für vorhandene Infrastrukturen, die auf die notwendige Zugfestigkeit zu prüfen sind.

Aufgrund von Abklärungen bei den IWB ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die bestehende öffentliche Beleuchtung (ÖB) nicht auf eine Zugfestigkeit dimensioniert wurde, die für die Befestigung von Fahrleitungen notwendig ist. Folgende Ausnahmen seien hier explizite erwähnt:

› Linie 30	Heuwaage-Viadukt	Masten mit ausreichender Zugfestigkeit vorhanden
› Linie 36	Brüglingerstrasse	Masten mit ausreichender Zugfestigkeit vorhanden

Das Zusammenlegen von ÖB und Fahrleitung bringt nur dann eine Kostenersparnis, wenn eine bestehende ÖB ersetzt werden muss. Vielfach bedingt das Abspannen der Tragwerke für den Trolleybus mehr und andere Aufhängungspunkte als für die ÖB.

Verwendete Kostensätze (für Fahrleitung mit 4 Drähten):

› Falls Infrastruktur ganz oder teilweise vorhanden ist:
  - › Falls Tragwerk (bspw. von Tram) vorhanden ist, bedingt dies neu Trolleybus-Fahrleitung und gewisse Anpassungen am Tragwerk: Annahme CHF 200/m
  - › Falls Masten mit ausreichender Zugfestigkeit vorhanden sind, bedingt dies neu Tragwerk plus Trolleybus-Fahrleitung: Annahme CHF 250/m

› Falls keine Infrastruktur vorhanden ist, wurden die Streckenabschnitte der Linie 30 resp. 36 nach Befestigungsart des Tragwerks charakterisiert. Dabei wurden folgende Kostensätze verwendet:
  - › Befestigungsart 100 % an Gebäuden Annahme CHF 300/m
  - › Befestigungsart 50 % an Gebäuden / 50 % an Masten Annahme CHF 450/m
  - › Befestigungsart 100 % an Masten Annahme CHF 700/m
  - › an Masten mit Ausleger (nur 2 Fahrdrähte, Mastanteil 50%) Annahme CHF 550/m

  Spezialkonstruktionen wurden mit Zuschlägen berücksichtigt; für Fahrleitungen mit nur 2 Drähten gelangen entsprechende Reduktionen zur Anwendung.

› Zudem sind eine Reihe von Spezialeinrichtungen vorzusehen:
  - › Weiche starr einlaufend CHF 20'000
  - › Weiche elektrisch angetrieben mit Steuerung CHF 60'000
  - › Weichenpaar (1 starr und 1 elektrisch) CHF 80'000
  - › Kreuzung mit Tram (4 Fahrdrähte Trolley, 2 Drähte Tram) CHF 60'000
  - › Kreuzung mit Trolley (je 4 Drähte) CHF 35'000
  - › Gleichrichter (alle 2 km, inkl. 2 Feeder, 1 km Kabel, Streckentrenner) CHF 2'000'000

Eingerechnet sind auch die Montagearbeiten und der Anpassungsaufwand. Abweichungen sind mit Zuschlägen oder Reduktionen berücksichtigt.

Kostenschätzungen für Linie 30 resp. 36

Aufgrund der obigen Kostensätze und dem Mengengerüst[14] aus der Begehung ergibt sich folgende Grössenordnung der zu erwartenden Kosten:

KOSTENSCHÄTZUNG FÜR TROLLEY-FAHRLEITUNGEN		
Investitionen in Mio. CHF	**Linie 30**	**Linie 36**
Tragwerk/Fahrleitungen	0.7	9.5
Zuschläge für Spezialkonstruktionen, Kurven	0.2	1.0
Sonderausrüstungen (Weichen, Kreuzungen, Gleichrichter)	2.1	17.5
Total	3.0	28.0

Tabelle 4

Ergänzend zu diesen linienspezifischen Kosten müssen für die Ausbauphase (d.h. bei Linie 36) zusätzliche Investitionen für Dienstverbindungen eingerechnet werden, um einen rationellen Betrieb zu ermöglichen. Dafür wird ein zusätzlicher Betrag von 3 Mio. CHF vorgesehen.

Für die Umrechung in Jahreskosten werden folgende Annahmen zu den Nutzungsdauern getroffen:

› Tragwerk: 25 Jahre
› Fahrleitungen: 15 Jahre
› Weichen/Kreuzungen: 3 resp. 15 Jahre[15]
› Gleichrichter: 35 Jahre

Diese Nutzungsdauern machen klar, dass eine Strategie „Trolleybus“ ein langfristiger Entscheid ist. Entsprechende Kapitalkosten fallen also bis in den Zeitraum 2030/2040 an.

14 Längen: (unter Berücksichtigung richtungsgetrennter Linienführung):
L30: 1.8 km
L36: 22.6 km (bei einer Linienlänge von 16.0 km)

15 Ca. 1/3 bewegliche Teile mit 3 Jahren, 2/3 Installationen mit 15 Jahren.

Wartungskosten

Den zusätzlichen Wartungsaufwand für das erweiterte Trolley-Netz veranschlagen wir auf ca. 125'000 CHF/a (bei einem Kostensatz von 5 CHF/m Fahrleitung gemäss Angaben anderer TU)[16].

Als zusätzlicher Aspekt wäre im Winter bei kalten Temperaturen mit zusätzlichem Wartungsaufwand für die Enteisung der Fahrleitungen zu rechnen (mit Auswirkungen auf den Fahrzeugeinsatz [Ersatzbeschaffung] und Personalaufwand [einige Stunden/Winternacht]). Angesichts der andern Positionen ist diese Position unter der Genauigkeitsgrenze[17]. Die zugehörigen Investitionen werden unter „Garagierung" aufgeführt.

Sonderfall Demontage Oberleitungen im Diesel- bzw. Gas-Szenario bzw. Investitionsstau beim Trolley-Szenario

Im Falle des Diesel bzw. Gas-Szenarios könnten die heutigen Oberleitungen demontiert werden. Gemäss BVB wäre dafür mit einmaligen Kosten im Umfang von rund 3.2 Mio CHF zu rechnen (Quelle: Ratschlag Nr. 9275 vom 23. September 2003). Diese Kosten werden beim Diesel- bzw. auch beim Gas-Szenario anfallen und müssen finanziert werden, selbst wenn sie mit diesen zwei Antriebsszenarien direkt nichts zu tun haben, sondern eine Art unabhängige „Altlast" sind.

Umgekehrt treten auch beim Trolleybus-Szenario Zusatzkosten auf, weil die BVB bei der Instandhaltung des bestehenden Trolley-Oberleitungsnetzes in den letzten Jahren Zurückhaltung geübt haben. Entsprechend muss hier mit „Nachhol-Investitionen" gerechnet werden. Für eine genaue Bezifferung dieses Investitionsstaus liegen allerdings keine Grundlagen vor. Was hingegen in die Berechnungen aufgenommen wird, sind Minderaufwendungen (im Diesel- und Gas-Szenario) für Betrieb und Instandhaltung der Fahrleitungen (Grobschätzung ca. -100'000 CHF/a).

Diese Ausführungen zeigen, dass in allen Szenarien die effektiv nötigen Investitionsmittel über das hier Aufgezeigte hinausgehen: im Fall Diesel- bzw. Gasszenario kommt die Demontage der Oberleitungen dazu, in den Trolley-Szenarien die nachzuholende Instandhaltung des bestehenden Trolley-Oberleitungsnetzes. Mutmasslich dürften die Kosten für die nachträgliche Instandhaltung über den Demontagekosten liegen, so dass die Trolleybus-Szenarien dadurch zumindest nicht schlechter gestellt werden.

16 Differenziert nach Phasen: Phase 1 (Linie 30) ca. 10 kCHF, Phase 2 (Linie 36) ca. 115 kCHF
17 Illustration: 90 Tage x 4 Std X 65 CHF/h = ca 23 kCHF

3.2.6. GARAGIERUNG

Bei den Garage-Anlagen hängt der Zusatzaufwand vom Konzept ab:

› Diesel-Szenario: hier gilt der Status quo, es sind keine Veränderungen zu erwarten (abgesehen von der erwähnten Anpassung der Tankanlage).

› Gasbus-Szenario: In diesem Fall müssten Gasbusse im Untergeschoss parkiert werden. Grundsätzlich werden erdgasbetriebene Fahrzeuge aus Sicht der Feuerpolizei wie benzin- oder dieselbetriebene Fahrzeuge eingestuft. Im Normalfall werden dafür keine zusätzlichen Massnahmen für das Einstellen in Tiefgaragen gefordert. Allerdings hängt es davon ab, wie die Garagierung im Einzelnen erfolgt. Weil gleichzeitig Trolley- und Erdgasbusse parkiert werden und auch teilweise Werkstatt-Betrieb herrscht, besteht im Prinzip ein gewisses Risiko, dem mit speziellen Massnahmen begegnet werden müsste (beispielsweise Installation von Sensoren, Lüftungsanlagen, evtl. bauliche Trennung oder eine zeitlich/betriebliche Trennung durch zeitweises Abschalten der Oberleitungen etc.). Die Palette der Massnahmen kann aber von „marginal" bis „substanziell" gehen. Eine Konkretisierung bedarf einer spezifischen Risikoanalyse und Konzeptentwicklung, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht geleistet werden kann.
Komplexer wäre die Situation zweifellos, wenn eine Innen-Betankung (z.B. Langsambetankung) vorzusehen wäre. Die Massnahmen zur Risikominimierung wären in diesem Fall gewichtiger als bei „Nur-Abstellen". Erste Erfahrungen in Bern zeigen, dass die baulichen Massnahmen sich in Grenzen halten. Auch hier lässt sich eine seriöse Kostenschätzung nur durch ein spezifisches Konzept begründen. Weil trotzdem Kostenvergleiche gefordert sind, gehen wir davon aus, dass die baulichen Massnahmen in den Werten der Tankanlage integriert sind, machen aber auch dazu eine Sensitivitätsbetrachtung mit erhöhten Kosten.

› Trolleybus-Szenario: Die Garagierung aller Trolleybusse wäre im Grundsatz in den heutigen oberirdischen Anlagen möglich, dies setzt jedoch voraus, dass in den Garagen für Phase 2 zusätzliche Oberleitungen montiert werden (total rund 300-400 m, mit Durchschnittssatz von grob geschätzt 1'000 CHF/m' ergibt dies einen Investitionsbedarf von ca. 0.3 – 0.4 Mio. CHF). Darüber hinaus hat – gemäss BVB – die Aufsichtsbehörde (BAV) die bestehende Einspeisung beanstandet. Auch sind diverse Installationen nicht mehr auf dem heutigen Stand und setzen einem effizienten Betrieb mit mehr Fahrzeugen Grenzen. Für eine belastbare Kostenschätzung müsste allerdings eine genauere Bedarfsanalyse durchgeführt werden. Für eine grobe Vergleichsschätzung unterstellen wir folgende groben Kosten: In Phase 1 rund 0.3 Mio CHF für Anpassungsarbeiten (Betriebsfahrzeug, elektrische Einspeisung), weitere 0.5 Mio CHF für Phase 2 (Elektrifizierung Garage, Wartungsoptimierung).

3.3. ERGEBNISSE

3.3.1. ÜBERSICHT

Die nachstehende Grafik zeigt in einer Übersicht die Jahreskosten in der Basisrechnung. Die zugehörigen Zahlen finden sich in Annex 2A. Diese Zusammenstellung zeigt markante Unterschiede:

› Die Investitionen reichen (für Phase 1+2, d.h. ab 2015) von 37.5 Mio. CHF im Diesel-Szenario bis knapp 86 Mio. CHF im Trolley/Gasbus-Szenario.
  Die Differenzen in den Jahreskosten sind weniger ausgeprägt, weil es sich bei den Investitionen im Trolleyszenario um langlebige Elemente handelt (namentlich Oberleitungen).
  Konkret betragen die Kosten in Phase 1, d.h. im Zeitraum 2008-2015,
  - › für das Diesel-Szenario rund 2.86 Mio CHF,
  - › für das Gasbus-Szenario 3.17 Mio CHF (+0.3 Mio CHF)
  - › und für das Trolley-Diesel-Szenario 3.39 Mio CHF (+0.52) bzw. für das Trolley-Gas-Szenario 3.54 Mio CHF (+0.67).

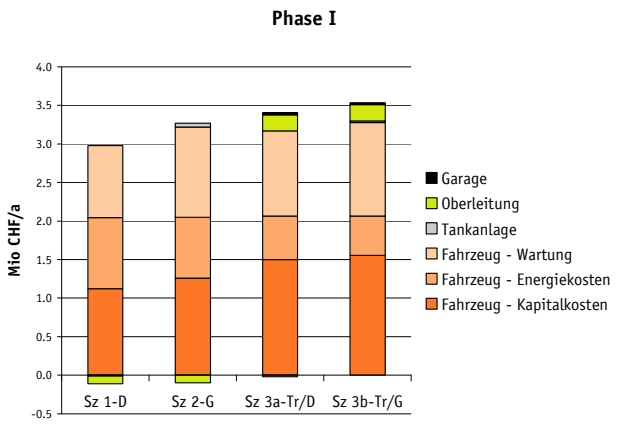
› Für den Zeitraum nach 2015 (Phase 1+2) lauten die entsprechenden Werte
  - › für das Diesel-Szenario rund 8.42 Mio CHF,
  - › für das Gasbus-Szenario 9.38 Mio CHF (+0.97 Mio CHF)
  - › und für das Trolley-Diesel-Szenario 11.4 Mio CHF (+3.0) bzw. für das Trolley-Gas-Szenario 12.0 Mio CHF (+3.55).

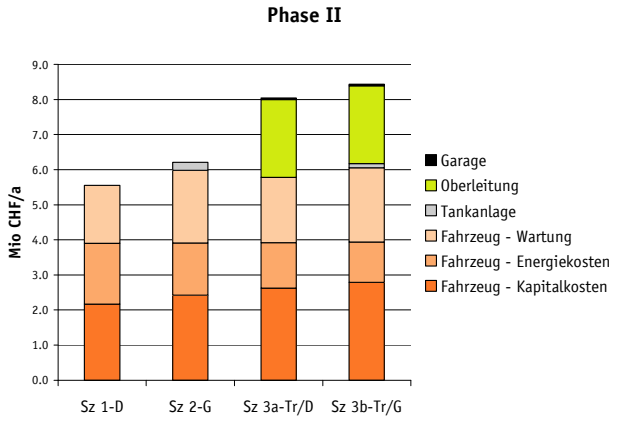
› Die Kapitalkosten fallen stark ins Gewicht. Sie sind die Hauptursache dafür, dass die Trolley-Szenarien in Phase 1 rund 18-23% teurer sind als die Dieselvariante bzw. 36-42% ab Phase 2. Dass ab Phase 2 die Differenzen noch ausgeprägter sind, ist auf die Investitionen in die Oberleitungen (Linie 36) zurückzuführen, welche jährlich mit rund 2.4 (von total 12) Mio. CHF zu Buche schlagen. Die Gasbus-Variante ist demgegenüber kostengünstiger, bleibt aber um rund 11% über der Dieselvariante (Phase 1 wie Phase 2).

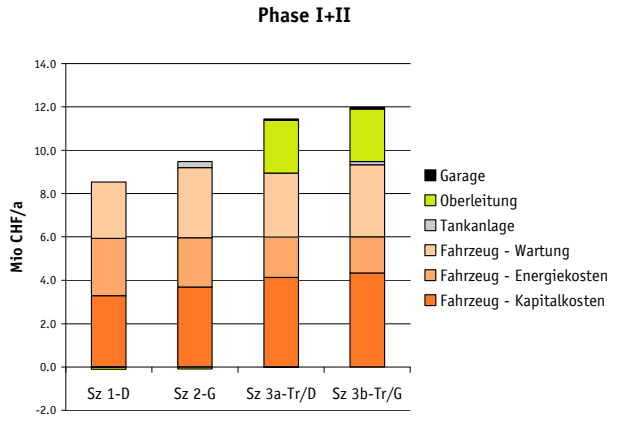
› Die um rund 1 Mio CHF geringeren Energiekosten der Trolleybusse (gegenüber Diesel) vermögen deren Gesamtmehrkosten zwar zu mildern, aber bei weitem nicht aufzuheben. Auch im Gasbus-Szenario sind die Energiekosten tiefer (knapp 0.4 Mio CHF), gleichwohl verbleiben Mehrkosten von knapp einer Million CHF.

›

JAHRESKOSTEN DER VIER SZENARIEN NACH KOSTENKATEGORIEN (IN MIO CHF/A)







Figur 4 Vgl. Schema in Figur 3 zur Interpretation der hier dargestellten Kostenkomponenten. Die zugrunde liegenden Zahlen finden sich in Annex 2A.

3.4. SENSITIVITÄTEN

Die folgenden Sensitivitätsbetrachtungen zeigen quantitativ den Einfluss variierender Annahmen. Als Orientierungsgrösse mögen die Gesamtjahreskosten des Dieselszenarios gelten: in Phase 1 ab 2008 rund 2.9 Mio CHF, ab 2015 rund 8.4 Mio CHF. Da aber darin die Fahrerkosten nicht enthalten sind, stellen diese Werte lediglich rund ein Drittel der Gesamtkosten dar.

3.4.1. DER EINFLUSS EINZELNER ANNAHMEN

Wartungskosten Gasbus +5 statt +15 Rp./km

Die Wartungsmehrkosten des Gasbusses wurden mit +15 Rp./km eingeschätzt. Würden diese statt dessen mit +5 Rp./km eingesetzt, würden folgende Effekte resultieren:

› Mehrkosten Gas gegenüber Diesel ab 2008 (Phase 1) : +150 kCHF (statt +300 kCHF)

› Mehrkosten Gas gegenüber Diesel ab 2015 (Phase 1+2): +535 kCHF (statt +970 kCHF)

Energiekosten Gas: Teilbefreiung von der Mineralölsteuer

Im Verlauf dieser Untersuchung hat der Bundesrat am 23.11.05 entschieden, dass die Mineralölsteuer ab 2007 angepasst wird, d.h. dass Erdgas teilbefreit und die biogenene Treibstoffe (Biogas, Biodiesel) vollständig befreit werden. Für konzessionierte Transportunternehmungen heisst das, dass die Mineralösteuer (nach Rückerstattung) nicht 18 Rp, sondern 4.9 Rp./kg beträgt[18]. Das hat folgende Effekte:

› Mehrkosten Gas gegenüber Diesel ab 2008 (Phase 1) : +185 kCHF (statt +300 kCHF)

› Mehrkosten Gas gegenüber Diesel ab 2015 (Phase 1+2): + 625 kCHF (statt +970 kCHF)

Das bedeutet eine Entlastung um rund 115 kCHF/a ab 2008 bzw. um rund 350 kCHF/a ab 2015, oder anders ausgedrückt: die Mehrkosten des Gas-Szenarios (ab 2015) werden um rund ein Drittel reduziert. Allerdings sind das nicht effektive Kostenreduktionen, sondern lediglich Steuerprivilegien, denen ein entsprechender Steuerausfall (in diesem Fall im Mineralölsteuerfonds des Bundes) gegenübersteht, der aber über den Benzinpreis bzw. die Benzinkonsumenten (und nicht die Steuerzahler) kompensiert wird.

18 Für Private gelten beim Erdgas folgende Sätze: heute 81 Rp/kg, ab 2007 22.2 Rp/kg
Für ÖV-Unternehmen: heute 18 Rp/kg, ab 2007 4.9 Rp./kg.

Tankstellenkosten (Gasanlage): 4 Mio statt 3 Mio CHF

Würden Mehrkosten von 4 (statt 3) Mio CHF für die Tankanlage veranschlagt, so würde dies die Gesamtkosten des Gas-Szenarios relativ geringfügig (um +65 kCHF/a) erhöhen. Eine analoge Minderung gäbe es, wenn nur 2 (statt 4) Mio CHF. eingesetzt würden.

Trolleybus-Wartungskosten: Differenz +30 Rp./km statt +20 Rp./km bzw. keine Differenz:

Wenn die Trolley-Wartungskosten mit +30 Rp./km statt mit +20 Rp./km eingesetzt werden, erhöht das die Mehrkosten der Trolley-Szenarien ab 2008 um +84 kCHF, bzw. ab 2015 um +186 kCHF/a. Falls andererseits bei den Trolleybussen gleiche Wartungskosten wie bei den Dieselbussen unterstellt werden, reduzieren sich die Trolley-Mehrkosten ab 2008 um 168 kCHF/a bzw. um 372 kCHF/a ab 2015. Die Trolley-Szenarien bleiben aber auch in diesem Fall aufwändiger als das Diesel-Szenario, das heisst, im Zeitraum ab 2008 fallen in den Trolley-Szenarien Mehrkosten von 0.35 bzw. 0.5 Mio CHF/a an, im Zeitraum nach 2015 (Phase 1+2) belaufen sich die Mehrkosten auf +2.64 bzw. auf +3.18 Mio CHF/a.

Fazit

Diese Sensitivitäten zeigen

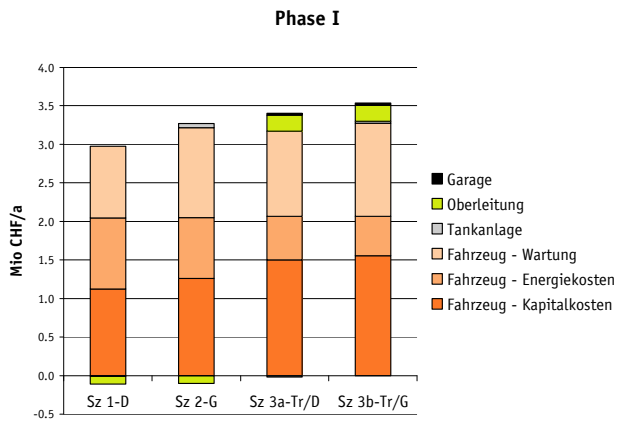
› vergleichweise wenig sensitive Einflüsse der Annahmen bei den Tankstellenkosten und Trolleybus-Wartungskosten,
› einen sensitiven Einfluss der Wartungskosten bei den Gasbussen, was durch den Mengeneffekt, d.h. die grosse Zahl FzKm, erklärbar ist,
› einen fast vergleichbar grossen Einfluss der Mineralölsteuer wie die 10-Rp-Differenz bei den Wartungskosten der Gasbusse.

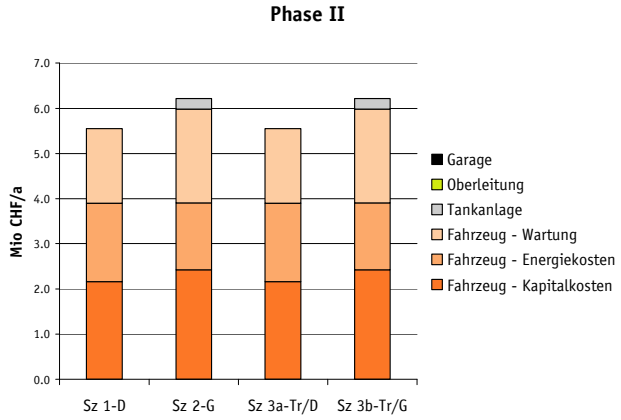
3.4.2. VERZICHT AUF ELEKTRIFIZIERUNG LINIE 36

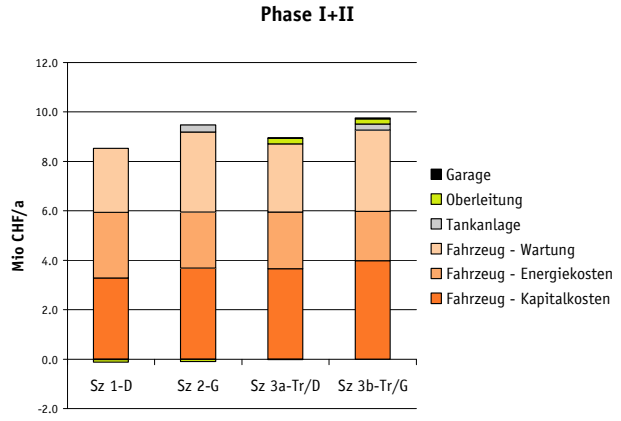
Wird das Trolleybus-Szenario weniger extensiv interpretiert und wird auf die Elektrifizierung der Linie 36 verzichtet, so lässt sich namentlich die markante Investition von rund 31 Mio CHF einsparen. Gleichzeitig können auch 17 günstigere Diesel- oder Gasbusse beschafft werden. Die Effekte dieses „abgespeckten" Trolleyszenarios sind in der nachstehenden Figur dargestellt (die zugehörigen Zahlen finden sich in Annex 2B). Sie bedeuten

› Deutlich geringere Gesamt-Investitionen von total 45 bis 52 Mio CHF in den kombinierten Szenarien Trolley/Diesel bzw. Trolley/Gas (statt 82 bis 86 Mio CHF),
› Jahreskosten (ab 2015) von 8.9 bzw. 9.7 Mio CHF(statt 11.4 bzw. 12.0 Mio CHF) – also eine Reduktion der Kosten um rund 2.3 bis 2.5 Mio CHF/a.

JAHRESKOSTEN – SENSITIVITÄT OHNE ELEKTRIFIZIERUNG LINIE 36 (IN MIO CHF/A)







Figur 5 Die zugrunde liegenden Zahlen finden sich in Annex 2B

› Damit liegt längerfristig das Trolley/Diesel-Szenario 3a leicht unter dem Gasbus-Szenario 2, und das Trolley/Gas-Szenario 3b leicht darüber. Allerdings ist in der ersten Periode 2008-2015 das Trolley/Diesel-Szenario um gut 200 kCHF/a teurer als das Gas-Szenario, oder hochgerechnet bis 2015 um rund 1.6 Mio CHF.

3.4.3. VARIANTE BIOGAS

Bei der Version Erdgas kommt zwangsläufig die Alternative Biogas ins Spiel. In der Tat ist dies – nachdem die lufthygienischen Aspekte zunehmend in den Hintergrund rücken (vgl. Kap. 4) – eines der Hauptmotive und –argumente für die Variante Gas. Weil Biogas mit Erdgas in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen angeboten werden kann, besteht Flexibilität. Der entscheidende Punkt an dieser Stelle sind die Kosten, zu denen Biogas den BVB angeboten wird. Wir gehen im Folgenden von der Extrem-Variante „100% Biogas“ aus, geringere Anteile würden zu entsprechend tieferen Kosten führen.

Gemäss heutigem Zustand beträgt der Zapfsäulenpreis für Erdgas rund 1.55 CHF/kg. Die BVB erhalten jedoch einen günstigeren Preis (0.87 CHF/kg) v. a. aufgrund der reduzierten Mineralölsteuer bzw. der Mineralölsteuerrückerstattung (vgl. Annex 1). Biogas wird demgegenüber öffentlich zu einem Preis von CHF 1.38/kg angeboten (mineralölsteuerbefreit, soweit es aus Pilotanlagen stammt). Unterstellt man, dass die BVB einen Grosskundenrabatt erhalten würden von z.B. CHF 1.30/kg, dass aber keine weiteren Vergünstigungen gewährt würden, da die Biogas-Produzenten ihr Produkt an öffentlichen Tankstellen zu favorableren Konditionen absetzen könnten, so ergibt das eine Kostenerhöhung von +43 Rp./kg (oder knapp +50% gegenüber dem heutigen Erdgaspreis der BVB von 87 Rp./kg). Hochgerechnet auf das Jahr lägen also unter heutigen steuerlichen Rahmenbedingungen die Energiekosten im „Biogas“-Szenario in Phase 1 um knapp 400 kCHF und ab 2015 um weitere ca. 700 kCHF höher, so dass die Mehrkosten gegenüber dem Dieselszenario in Phase 1 rund 0.7 Mio CHF und ab 2015 gut 2 Mio CHF betragen (vgl. Annex 2C).

Ab 2007 verändert sich die Ausgangslage aufgrund des bundesrätlichen Beschlusses vom 23.11.05, die Mineralölsteuer zu revidieren, wonach Erdgas von Mineralölsteuer teilbefreit und Biogas vollständig befreit wird. Wie sich dies auf den Marktpreis auswirken wird ist noch nicht absehbar. Der Tankstellenpreis von Erdgas wird kaum um den Förderungsbonus (von 40 Rp./l Benzinäquivalent) reduziert werden, dürfte aber unter das heutige Niveau von Biogas zu liegen kommen, so dass der Biogaspreis unter Druck gerät. Die Gestehungskosten bzw. die Einkaufskosten von Biogas betragen rund 1 CHF/kg – entsprechend der Vereinbarung zwischen der Gasindustrie und den Biogasproduzenten, wonach mindestens 10% des

Gas-Treibstoffabsatzes zu einem Preis von 7.5 Rp/kWh übernommen werden. Damit besteht ein nur geringer Spielraum für Preissenkung beim Biogas. Das heisst, die oben genannten Kosten sind demnach ein absoluter oberer Grenzwert. (Parallel dazu würde aber das Erdgas-Szenario günstiger, vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.4.1). Diese Überlegungen gelten unter heutigen Dieselpreisen. Steigen diese in Zukunft weiter an, so werden die Biogaspreise zwar den so entstehenden Spielraum der Anpassung ausnützen, mittelfristig aber dürfte sich die Differenz zunehmend verkleinern, die Mehrkosten tendenziell also abnehmen.

3.4.4. VARIANTE BIODIESEL

Eine Beimischung von 5% Biodiesel ist technisch unproblematisch und könnte heute bereits realisiert werden. Für einen darüber hinausgehenden Prozentsatz müssten die Garantiezusagen der Hersteller eingeholt werden. Eine Beimischung von 15% wurde bei den BVB bereits erprobt, die Machbarkeit scheint gegeben (Mayer et. al. 2005). Ein Umstieg auf 100% Biodieselmüsste vertieft abgeklärt werden. Das ist jedenfalls mit Risiken verbunden, da absehbar ist, dass die neueste Technologie (SCRT) erhöhte Anforderungen an die Treibstoffqualität stellt. Aus betrieblicher Sicht würde ein Umstieg nur Sinn machen, wenn die ganze Flotte umgestellt würde (mit entsprechenden Garantiezusagen der Hersteller für alle Fahrzeugserien). Ein „Splitting" – z.B. nur eine bestimmte Fahrzeugserie umzustellen und die andern auf fossilem Diesel zu belassen – wäre betrieblich umständlich und kostspielig, da dann zwei Treibstoffversorgungssysteme vorgehalten werden müssten. Nur unter speziellen Voraussetzungen wäre also ein 100% Biodiesel-Betrieb denkbar. Jedenfalls wären die BVB ein Pionierbetrieb dafür, und gewisse Risiken wären nicht auszuschliessen. Realistischer scheint ein Betrieb mit 15% Anteil Biodiesel. Auch in diesem Fall wären Herstellergarantien einzuholen. Die Kostenfolgen schätzen wir wie folgt ein:

- Betankungsmässig könnte die Tankstelle am Rankhof auf Biodieselbzw. den neuen Mix umgerüstet werden. Dazu sind zwei Varianten denkbar[19]:
  - Eine Minimallösung würde den gegenwärtigen Treibstofffluss der BVB (40'000 l Tank + 150'000 l Tank) vollständig auf Biodiesel bzw. den neuen Mix umstellen, gleichzeitig könnte man bei der SuperPlus 98-Zapfsäule konventionellen mineralischen Diesel anbieten. Das führte zu minimalen Kosten (< 10 kCHF).
  - Eine Alternative bestünde darin, Tank und Zapfsäulen der BVB auf Biodiesel bzw. den neuen Mix umzurüsten, die gegenwärtige öffentliche Diesel-Tankstelle aber beizube-

19 Nach Rücksprache mit dem gegenwärtigen Treibstofflieferanten, der aber derzeit (noch) kein Biodiesel in seinem Angebotssortiment führt.

halten. Das bedingte den Bau eines zusätzlichen Tanks für konventionellen Diesel. Geschätzte Kosten inkl. Verrohrung: <100 kCHF.

› Bei der Wartung wäre mit leicht höheren Kosten zu rechnen (primär häufigere Ölwechselintervalle). Auch müsste man mit höherem Verbrauch rechnen (bis zu +15% bei 100% Biodiesel aufgrund der geringeren Energiedichte; bei einem 15%-Anteil rechnen wir mit einem Mehrverbrauch von 2%).

› Der Preis von Biodiesel: Diesel mit 5% Biodiesel-Anteil ist heute um rund 2 Rp. teurer als der normale mineralische Diesel. Einzelne Firmen weisen darauf hin, dass sie den Treibstoff zum selben Preis anbieten werden, sobald die fiskalische Differenzierung gegenüber herkömmlichem Diesel eingeführt wird – also ab 2007. Unter heutigen Rahmenbedingungen ist Biodiesel aus Pilotanlagen steuerbefreit. Wie sich der Marktpreis des 100%-Biodiesel einpendeln wird, muss sich erst weisen, wenn die beschlossene Befreiung der Mineralölsteuer ab 2007 greift. Die Erfahrung in Deutschland, wo die Steuerbefreiung von 47 Cent je Liter bereits realisiert ist, zeigt, dass Biodiesel an den Tankstellen regional stark differiert, er liegt aber durchschnittlich um rund 10 bis 20 Cent je Liter unter dem jeweiligen Niveau für herkömmlichen Diesel. Überträgt man diese Erfahrung auf die Schweiz, so kann man einen Preis von etwa 1.40 CHF/L (im Vergleich zu einem Dieselpreis von 1.60 CHF/L) erwarten. Ähnlich wie bei Biogas wäre der Alternativ-Treibstoff also deutlich teurer als der konventionelle, weil die Produzenten ihr Produkt an öffentlichen Tankstellen zu favorableren Konditionen absetzen könnten. So ergäbe sich im Fall 100%-Biodiesel eine Kostenerhöhung von ca. +35 bis +40 Rp./L (oder knapp +35 bis 40% gegenüber dem heutigen Dieselpreis der BVB von 1.01 CHF/L) bzw. beim Mix mit 15% Biodiesel ein Preis von rund 1.07 CHF/L (oder ca. +7% gegenüber heute).

› Hochrechnung: Hochgerechnet auf das Jahr lägen somit die Kosten einer 15%-Biodiesel-Variante[20] in Phase 1 um rund 80 kCHF und ab 2015 um 230 kCHF höher als das Diesel-Basis-Szenario.

› Ein Dilemma bei Biodiesel kann (muss aber nicht) entstehen, wenn die Produktion von Biodiesel mit der Nahrungsproduktion in Konflikt gerät. Biogas ist diesbezüglich weniger problematisch. Auch bei Biodiesel scheint das vorerst nicht ein Problem zu sein, da in Europa genügend Anbauflächen bestehen, um diesem Konflikt zu entgehen.

20 Im Fall von 100% Biodiesel – was hier aber als fiktive Variante gilt - würden die Mehrkosten infolge erhöhten Energiekosten und einem erhöhten Energieverbrauch, aber ohne erhöhte Wartungskosten, in Phase 1 rund 0.6 Mio CHF bzw. ab 2015 rund 1.7 Mio CHF ausmachen.

3.5. ZUSAMMENFASSUNG

Die nachstehende Tabelle fasst die Kosten der Szenarien einschliesslich der Varianten Biodiesel bzw. Biogas zusammen.

VERGLEICH DER JAHRESKOSTEN (IN MIO CHF/A) DER VERSCHIEDENEN SZENARIEN						
Szenario	**1**		**2**		**3a**	**3b**
	Diesel	**Variante 15% Biodiesel**	**Gas**	**Variante Biogas**	**Trolley/ Diesel**	**Trolley/ Gas**
ab 2008 (Phase 1)	2.86	2.94	3.17	3.56	3.39	3.54
ab 2015 (Phase 1+2)	8.42	8.64	9.38	10.50	11.43	11.97
Mehrkosten (in Mio CHF/a) im Vergleich zum Dieselszenario						
ab 2008 (Phase 1)		0.08	0.31	0.69	0.52	0.67
ab 2015 (Phase 1+2)		0.23	0.97	2.08	3.01	3.55

Tabelle 5

Die Zahlen illustrieren Folgendes:

› Kurzfristig, d.h. in Phase 1 bis 2015, liegen die Mehrkosten im Bereich von 0.3 bis 0.7 Mio CHF/a. Gemessen an den fahrzeugbedingten Gesamtkosten (im hier verstandenen Sinn, ohne Fahrer und weitere Fixkosten) von rund 8 bis 9 Mio CHF/a machen diese 3 bis max. 8% aus. Zählt man zur Bezugsbasis die Fahrerkosten dazu, reduzieren sich diese Prozentsätze auf 1.5 bis 3%.

› Längerfristig, nach 2015, sind die Differenzen deutlich grösser, weil zusätzliche Investitionen dazukommen und die Mengeneffekte in den Differenzkosten stärker zu Buche schlagen: Das Gas-Szenario verursacht längerfristig Mehrkosten von rund 1 (Erdgas) bis 2 (Biogas) Mio CHF/a gegenüber dem Dieselszenario, die kombinierten Trolley-Szenarien sind noch aufwändiger und bedeuten Mehrkosten von +3 bis +3.5 Mio CHF/a.

4. ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

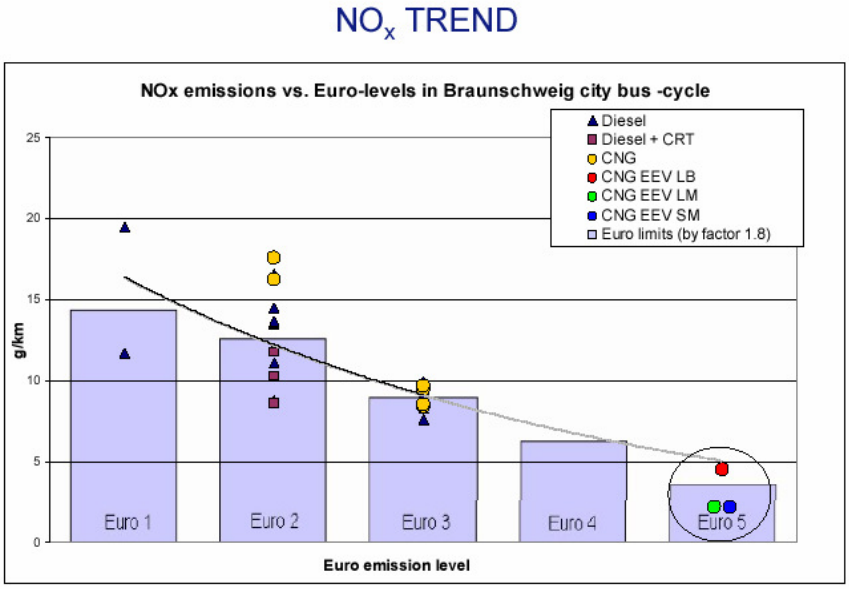
In den oben beschriebenen Szenarien wird unterstellt, dass neue Dieselbusse den Euro-5-Standard einhalten und darüber hinaus mit Partikelfilter ausgerüstet sind, bei Gasbussen wird vom EEV-Standard ausgegangen. Trolleybusse sind hingegen (im Betrieb) emissionsfrei. Man kann in diesen Annahmen – aus ökologischer Sicht – eine gewisse Verzerrung erkennen, gleiche Standards zu verlangen macht jedoch wenig Sinn. Für ein Gasbus-Szenario kann und soll man heute den EEV-Standard verlangen, da dies der „Best available technology" (BAT) entspricht, während man dies für ein Dieselszenario heute noch nicht fordern kann, da solche Busse auf dem Markt nicht verfügbar sind.

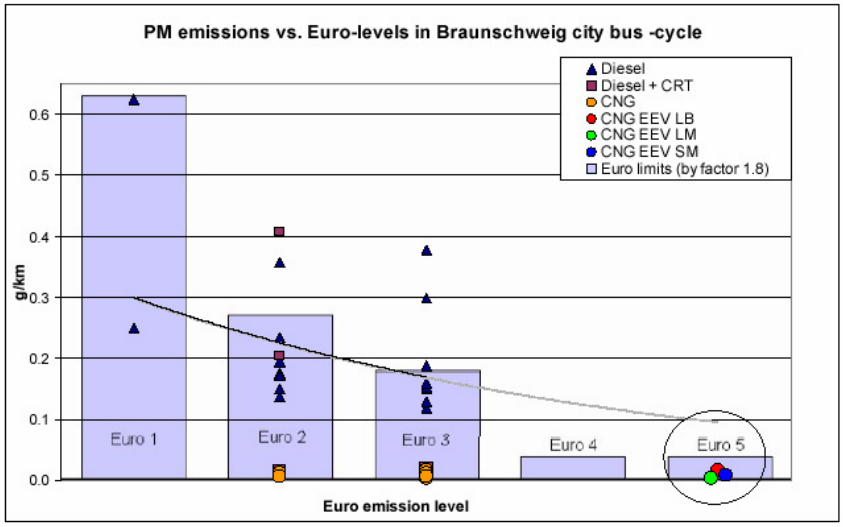
4.1. SCHADSTOFFE UND LUFTHYGIENE

4.1.1. EINLEITUNG

Wie in Kap. 2 bereits erwähnt, ist die „ökologische Performance" der hier zur Diskussion stehenden Fahrzeug- bzw. Motorentypen stark durch die Emissionsgesetzgebung getrieben (die im Betrieb emissionsfreien Trolleybusse bilden hier die Ausnahme). Die nachstehende Figur zeigt illustrativ die Entwicklung des Emissionsniveaus von Fahrzeugen in den verschiedenen Euro-Stufen der beiden – im Kontext schwerer Motorwagen und Busse – wichtigsten Schadstoffe NO_x und Partikel. Die Angaben in Figur 6 basieren auf einer neuen Publikation (VTT 2004), welche sich zum Ziel gesetzt hat, Emissionen und Energieverbrauch bzw. CO_2-Emissionen von möglichst vergleichbaren Diesel- und Gasbussen einander gegenüberzustellen. Bei den Dieselbussen umfasste das Messkollektiv mehrere Typen von Euro-1 bis Euro-3; Dieselbusse, welche der neuen Abgasstufe Euro-5 genügen, konnten aus Verfügbarkeitsgründen noch nicht ausgemessen werden. Bei den Gasbussen hingegen wurden nicht nur Euro-2 und Euro-3, sondern auch EEV-Fahrzeuge mit evaluiert.

ENTWICKLUNGSTRENDS DER NO_X- UND PARTIKEL-EMISSIONEN





Figur 6 Entwicklung des Emissionsniveaus von Diesel- und Gasbussen in einem für Linienbusse typischen städtischen Fahrmuster in Abhängigkeit der Euro-Stufen (VTT 2004).

Aus diesen Darstellungen sowie aufgrund anderer Messungen und Untersuchungen kann man folgern:

› Grundsätzlich sinkt das Emissionsniveau mit den verschiedenen Euro-Klassen markant ab. Die Angaben dokumentieren aber gleichzeitig die **grosse Streubreite** solcher Messungen. Der Stellenwert eines einzelnen Messpunktes bzw. die Messung eines einzelnen Fahrzeugs ist deshalb mit Vorsicht zu interpretieren und kann nicht generalisiert werden.

› Der grosse Vorteil von **Gasfahrzeugen** liegt beim tiefen Ausstoss an Partikeln. Das gilt bereits für die älteren Fahrzeuge. Bei den NO_x-Emissionen hingegen liegen erst die neuesten Gasfahrzeuge (EEV) im Bereich von oder deutlich unter dem künftigen Euro-5- Grenzwert. Allerdings weisen Resultate verschiedener Studien und Messkampagnen sehr grosse Streuungen auf (z.B. Vito 2001, TNO 2003, VTT 2004, SVGW 2005). Diese Streuung lässt keine eindeutige Rangordnung der beiden Gasbus-Technologien (mager-mix versus stöchiometrisch) zu. Das gilt sowohl für die Schadstoffe wie (eher erstaunlicherweise) auch für den Energieverbrauch bzw. die CO_2-Emissionen[21].

› Bei den **Dieselfahrzeugen** ist die positive Entwicklung über die Euro-Klassen sichtbar. Allerdings besteht ein grundlegendes Handicap darin, dass Angaben zum „realen" Emissionsniveau von Fahrzeugen, die im vorliegenden Kontext interessieren (nämlich Euro-5-Fahrzeuge), vollständig fehlen. Man ist hier auf Angaben aus den Norm-Zyklen angewiesen. Es ist allerdings bekannt, dass Norm-Zyklusmessungen, d.h. Zertifizierungsangaben, nicht zwingend repräsentativ sind für das Emissionsverhalten auf der Strasse[22].

› Deutlich sichtbar wird der Einfluss des **Partikelfilters** (CRT) bei den Dieselfahrzeugen. Dieser vermag das Emissionsniveau markant abzusenken, so dass bezüglich Partikelmasse Diesel- und Gasfahrzeuge etwa im gleichen Bereich liegen.

› Noch ungesichert ist, wie weit die ab Euro-4 von mehreren Herstellern vorgesehene **SCR-Technologie** (und damit die **SCRT-Technologie**) beim Einsatz im Linienverkehr auch tatsächlich wirksam ist, da die SCR-Technologie erst ab einer gewissen Temperatur funktioniert, welche im Linienverkehr oft unterschritten wird. In einem solchen Fall würden die NO_x-Emissionen deutlich höher ausfallen (unreduziert, als erhöhte Rohemission). Gerade in städtischen Gebieten, wo die Stickoxide die Grenzwerte noch immer überschreiten, wäre das ausgesprochen unerwünscht. Die Problematik ist an sich bekannt, Entwicklungsan-

21 Aus technischer Sicht würde man erwarten, dass dieser Motorentyp effizienter ist, d.h. weniger Energie konsumiert. Doch weist z.B. VTT (2004) für diesen Typ höhere CO2-Emissionen aus als für den stöchiometrischen Typ.

22 Am Beispiel Euro-2 illustriert: trotz Absenkung der NOx-Emissionen im Norm-Zyklus gegenüber Euro-1 (wie es die Grenzwerte erforderten) haben die Fahrzeuge im Realbetrieb auf der Strasse mehr NOx emittiert, weil die Kennfelder auf den Norm-Zyklus ausgelegt und optimiert wurden (vgl. z.B. TUG 2002).

strengungen sind im Gang, aber das Problem kann noch nicht als „gelöst" bezeichnet werden. Einzelne Hersteller bezeichnen jedoch die Wirksamkeit als gegeben[23].

› Bei den weiteren Schadstoffen **PAH und Formaldehyde** schliesslich zeigen Vergleichsmessungen von Euro-3 Dieselbussen mit CRT-Ausrüstung und Erdgasbussen, dass die bei diesen Dieselbussen schon sehr geringen PAH- (94 µg/km) und Formaldehyd-Emissionen (5 mg/km) mit Erdgasbussen zusätzlich reduziert werden können (VTT 2004). Bei PAH beträgt diese Reduktion 85-100%, im Falle von Formaldehyd gar 98%.

4.1.2. ANNAHMEN

Trotz der oben formulierten Unsicherheiten wird im Folgenden versucht, die Wirkungen der verschiedenen Varianten auf die Emissionsfrachten abzuschätzen. Aufgrund der limitierten Datenbasis hängen die Ergebnisse wesentlich von den Annahmen ab.

Im Unterschied zu den Kosten, wo lediglich „partielle" Kosten aufgezeigt wurden (nämlich jene, die durch den Beschaffungsentscheid beeinflusst werden), machen wir bei den Umweltkomponenten *Gesamt*betrachtungen. Das heisst, es werden die Emissionen jeweils der gesamten Busflotte in den drei Perioden „heute", „2008-15" und „2016 folgende" berechnet, um so die Effekte der Entscheidung absolut und relativ aufzuzeigen.

Ausgangspunkt ist das Mengengerüst der Basler Verkehrsbetriebe zum heutigen Zeitpunkt. Zur Berechnung der Luftschadstoff-Emissionen von Dieselbussen wurden Emissionsfaktoren gemäss BUWAL (2004) verwendet. Für die oben erwähnten zwei Beschaffungsphasen (2008 bzw. 2015) wurden die Emissionen für die drei vorgängig erwähnten Technologie-Varianten ermittelt, wobei die jährlich total zurückgelegten Fahrzeugkilometer als konstant angenommen wurden. Bei den Dieselbussen wurde (wie in BUWAL 2004a) optimistisch unterstellt, dass die SCRT-Technologie auch im städtischen Linienbetrieb wirksam ist. Entsprechend wurde mit Absenkraten operiert, wie sie ähnlich auch für Nutzfahrzeuge unterstellt sind.

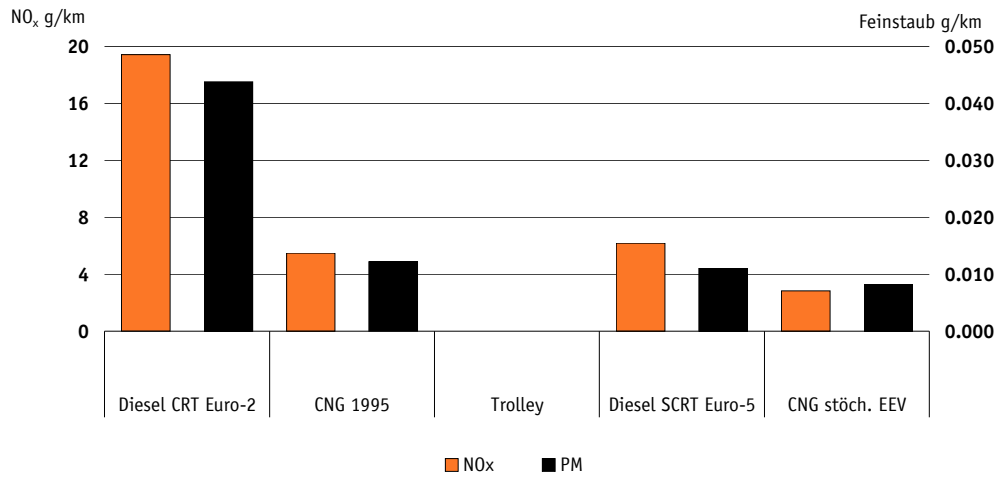
Für die Betriebs-Emissionen der Gasbusse, welche bereits bei BVB im Einsatz stehen, wurden Angaben gemäss LHA (1998) verwendet. Für Abschätzungen der Emissionen von

23 Beispielsweise die Position von Evobus: „Die Abgasreinigung bei BlueTec Motoren funktioniert unter allen Einsatzbedingungen zuverlässig. In Praxisversuchen, die von EvoBus bereits in einem sehr frühen Stadium in einer Großstadt mit flacher Topografie durchgeführt wurden, zeigte sich, dass der SCR-Katalysator in allen Fahrzuständen funktioniert. Insbesondere die hohe Temperatur-Speicherfähigkeit des Katalysators, der bei jedem Anfahrvorgang entsprechend aufgeheizt wird, führt dazu, dass auch während längerer Leerlaufphasen die notwendige Temperatur von mindestens 200°C erhalten bleibt. Während Phasen längeren Schiebebetriebes wird kein Kraftstoff gefördert, somit können auch keine NOx Emission entstehen und es wird daher auch kein AdBlue eingedüst." (Persönliche Mitteilung Hr. Krieg, EVOBUS, Dez. 2005)

Gasbussen des EEV-Standards wurden Messungen an Standardbussen (VTT 2004) herangezogen und wo nötig auf Gelenkbusse hochgerechnet.

Den Berechnungen wurden jeweils Messungen von Testzyklen zugrunde gelegt, welche einem für Linienbusse typisch städtischen Fahrmuster entsprechen. Figur 7 zeigt die entsprechenden verwendeten Betriebs-Emissionsfaktoren. Bereits hier lassen sich grosse Unterschiede in den resultierenden Emissionen der Fahrzeugvarianten erkennen. Es zeigt sich deutlich, dass der Ersatz der alten Dieselbusse (Euro-2) eine deutliche Verminderung der Emissionen bringt, währenddem die 1995-er Erdgasbusse bereits ein sehr tiefes Emissionsniveau aufwiesen. Trolleybusse weisen im Betrieb keine Schadstoffemissionen auf (Feinstaubemissionen aufgrund von Abrieb und Aufwirbelung wurde hier nicht betrachtet).

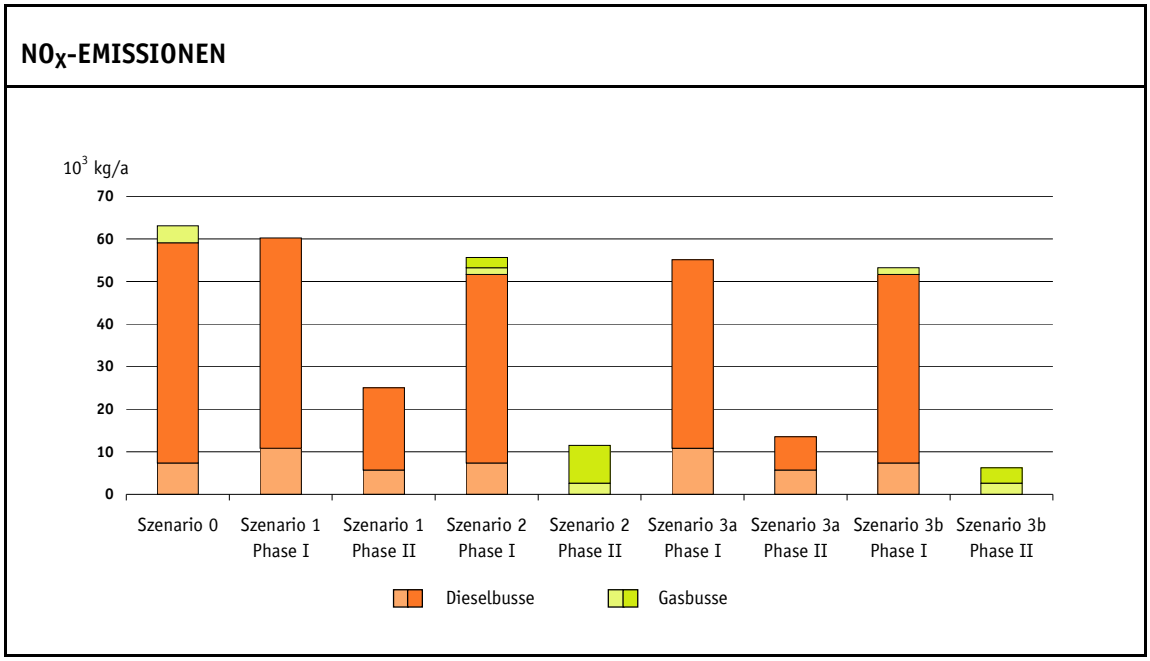
NO_X- UND FEINSTAUB-EMISSIONSFAKTOREN



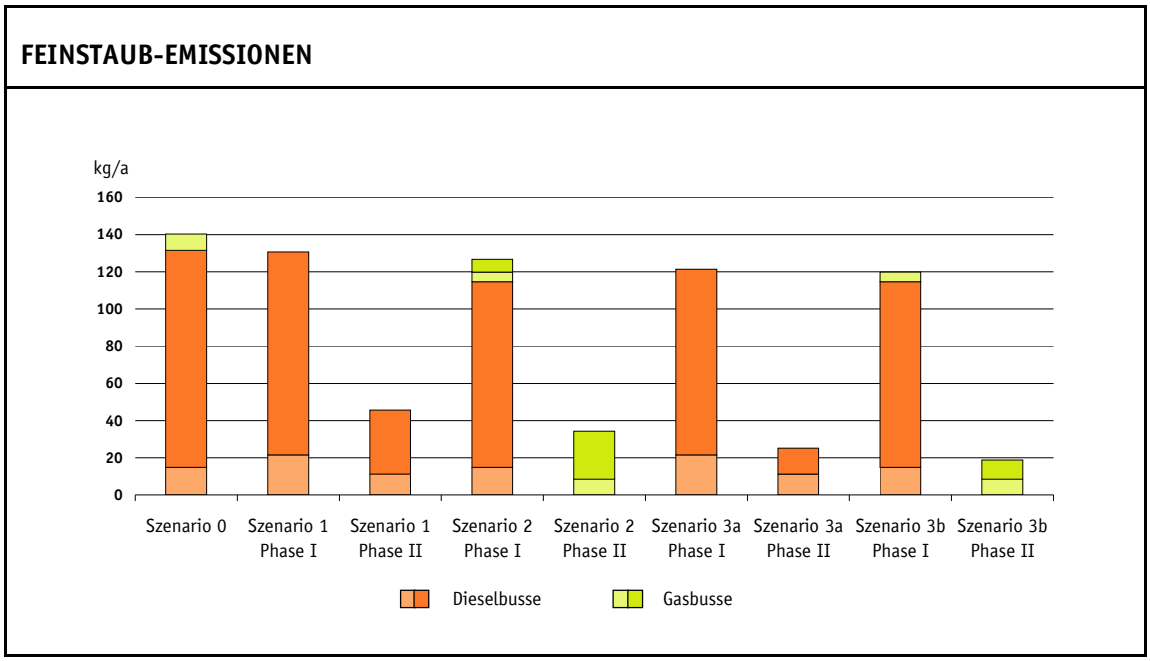
Figur 7 NO_X- und Feinstaub-Emissionsfaktoren im Betrieb für die bisherigen und die neuen Busvarianten der oben beschriebenen Szenarien.

4.1.3. EMISSIONEN IM BETRIEB

In Figur 8 sind die jährlichen NO_x-Emissionen, in Figur 9 die Feinstaub-Emissionen der Busflotte BVB dargestellt. Details zu den Zahlenwerten sind im Annex 4 zu finden. Szenario 0 zeigt den Ist-Zustand: Die zu ersetzenden Dieselbusse Euro-2 emittieren heute den grössten Teil der NO_x- und der PM-Emissionen.



Figur 8 NO_X-Emissionen der Busflotte BVB in Tonnen pro Jahr. Dargestellt sind die Emissionen für die oben beschriebenen Phasen und Szenarien. Der Trolleybus emittiert im Betrieb keine Schadstoffe.



Figur 9 Feinstaub-Emissionen der Busflotte BVB in kg pro Jahr. Dargestellt sind die Emissionen für die oben beschriebenen Phasen und Szenarien. Der Trolleybus emittiert im Betrieb keine Schadstoffe.

In allen Szenarien nehmen die Emissionen in Phase II deutlich ab, d.h. mit Ersatz der jetzigen Dieselbusflotte (Euro-2, 46 Fahrzeuge). Mit Szenario 1 (Dieselbus) fallen auch in Phase

II noch die grössten NO_x- und PM-Emissionen an, währenddem die Emissionen in Szenario 3b (Trolley-/Gasbus) am geringsten ausfallen. Die „Rangordnung" der verschiedenen Szenarien je Phase ist – wie bereits einleitend ausgeführt – mit Vorbehalt zu geniessen. Einerseits sind noch keine SCRT-Dieselbusse im Einsatz, so dass die Emissionsfaktoren dieser Busse auf „Expert guess" beruhen. Und bei den Gasbussen weisen die verschiedenen Studien und Messkampagnen sehr grosse Streuungen auf. Gleichwohl kann grob gesagt werden, dass die Gasbusse nur rund die Hälfte NO_x und auch eher weniger Feinstaub emittieren als die Dieselbusse. Wie oben erwähnt emittieren Trolleybusse im Betrieb keine Schadstoffe, hier sind die Vorprozess-Emissionen (d.h. Emissionen bei der Herstellung von Strom) von besonderem Interesse.

Beimischung von Rapsmethylester (RME)

Zuweilen wird RME als Alternative in die Diskussion gebracht. Ein Gemisch von wenigen Volumen-Prozenten Rapsmethylester (RME) und Diesel kann mit herkömmlichen Dieselmotoren gefahren werden. Eine geringe Beimischung von RME zu Diesel führt naturgemäss auch nur zu geringen Veränderungen der Betriebsemissionen. Eine Zugabe von 5% RME reduziert beispielsweise die PM-Emissionen um 2.5-3.5% währenddem die NO_x-Emissionen unverändert bleiben (ITB 2003, EPA 2002). Die CO_2-Emissionen werden um 5% gesenkt, da der 5%-Anteil RME aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wird und diese CO_2-Emissionen nicht klimarelevant sind.

Mit zunehmender Komplexität des Dieselmotorsystems kann die Benutzung von RME zu Problemen führen. Zum jetzigen Zeitpunkt stehen noch keine Messdaten von RME für Busmotoren Euro-4/5 zur Verfügung. Für ältere Motorenmodelle (Euro-2) wurden z.T. sehr unterschiedliche Testresultate veröffentlicht. Beispielsweise erwähnen ITB (2003) bei Einsatz von reinem RME eine Reduktion der Feinstaub-Emissionen um 40% bei einer gleichzeitigen Zunahme der NO_x-Emissionen um 15%. Mayer et al. (2005) finden dagegen keine Veränderung für NO_x- und eine Zunahme der Feinstaub-Emissionen.

4.1.4. EMISSIONEN DURCH BEREITSTELLUNG VON TREIBSTOFFEN

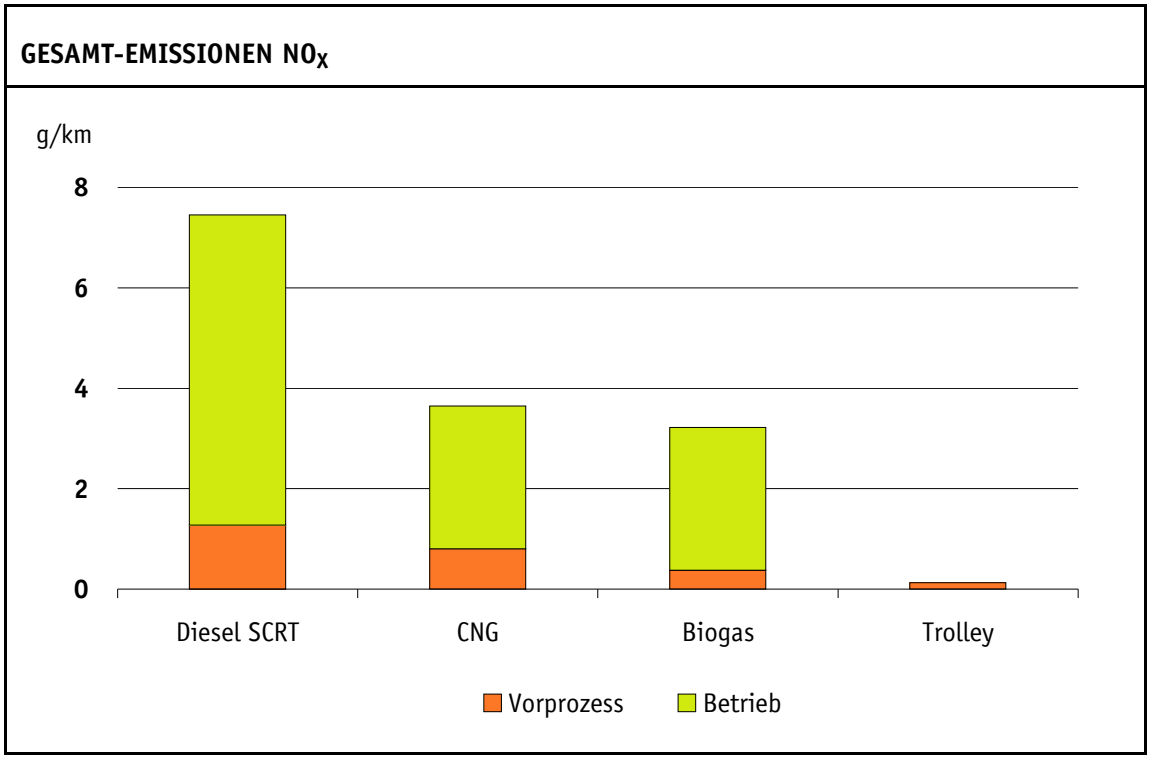
Die Gesamt-Emissionen setzen sich zusammen aus Emissionen, welche bei den Vorprozessen anfallen sowie den entsprechenden Emissionen aus dem Verbrennungsprozess (Betrieb der Busse). Dabei beinhalten die Vorprozess-Emissionen die Belastungen, welche bei Gewinnung/Förderung, Herstellung (Raffinierung), Transport/Vertrieb des Treibstoffes sowie bei der Betankung anfallen. In der vorliegenden Studie wurden Diesel CH-Mix mit 10 ppm

Schwefelgehalt, CNG, Biogas sowie die Bereitstellung von Elektrizität betrachtet. Die Vorprozess-Emissionsdaten wurden ecoinvent (2004) entnommen. Es ist jedoch zu beachten, dass je nach Biomassequelle und Herstellungsprozess von Biogas die entsprechenden Vorprozess-Emissionen variieren können. Ebenso spielt die Produktionsart der Elektrizität eine grosse Rolle. Beispielsweise wird bei der Herstellung von Strom aus Wasserkraftwerken signifikant weniger CO_2 emittiert als bei der Herstellung von Strom in Kohlekraftwerken. Zu Vergleichszwecken wurden deshalb die Vorprozessemissionen von Strom aus schweizerischer und aus deutscher Produktion verglichen (im schweizerischen Stromnetz ist je nach Bedarfsabdeckung ein Strommix verschiedener Herstellerländer vorhanden).

Bei der Herstellung von Diesel wird verglichen mit CNG und Biogas die grösste Menge NO_x emittiert (Figur 10). Erdgas bringt gegenüber Diesel eine Einsparung von gut 40%, währenddem die Emissionen der Biogas-Vorprozesse und der Stromproduktion für Trolleybusse noch tiefer liegen. Figur 10 zeigt die Vorprozess-Emissionen für Strom aus schweizerischer Produktion. Bei deutschem Strommix wird 10x mehr NO_x emittiert, womit in etwa gleichviel Vorprozess-Emissionen anfallen würden wie bei der Herstellung von Diesel.

Da bei den Betriebsemissionen schon ein ähnlicher Emissionstrend aufgezeigt werden konnte, sind auch die Gesamt-NO_x-Emissionen eines Trolleybusses am geringsten. Die Gesamt-Emissionen eines Gasbusses sind niedriger als diejenigen eines Dieselbusses.

Die PM-Emissionen der Vorprozesse sind – gemäss Angaben aus ecoinvent (2004) – um einen Faktor 10-40 grösser als jene der Betriebsemissionen. Die PM-Gesamt-Emissionen werden somit durch die Vorprozess-Emissionen bestimmt und liegen für Erdgasbusse und Trolleybusse 60% tiefer als für Dieselbusse. Biogasbusse emittieren gesamthaft 23% weniger Partikel als Dieselbusse. Hierzu muss jedoch beachtet werden, dass die Zusammensetzung und Toxizität der Partikel, welche in der Vorprozesskette emittiert werden (z.B. von Zementfabriken) sich deutlich unterscheidet von jener der Partikel aus Verbrennungsprozessen. Ausserdem werden die Vorprozess-Partikel meist ausserhalb dicht besiedelter Gebiete emittiert. Die Gesundheitsgefährdung durch Partikel aus Vorprozessen ist deshalb verhältnismässig gering.



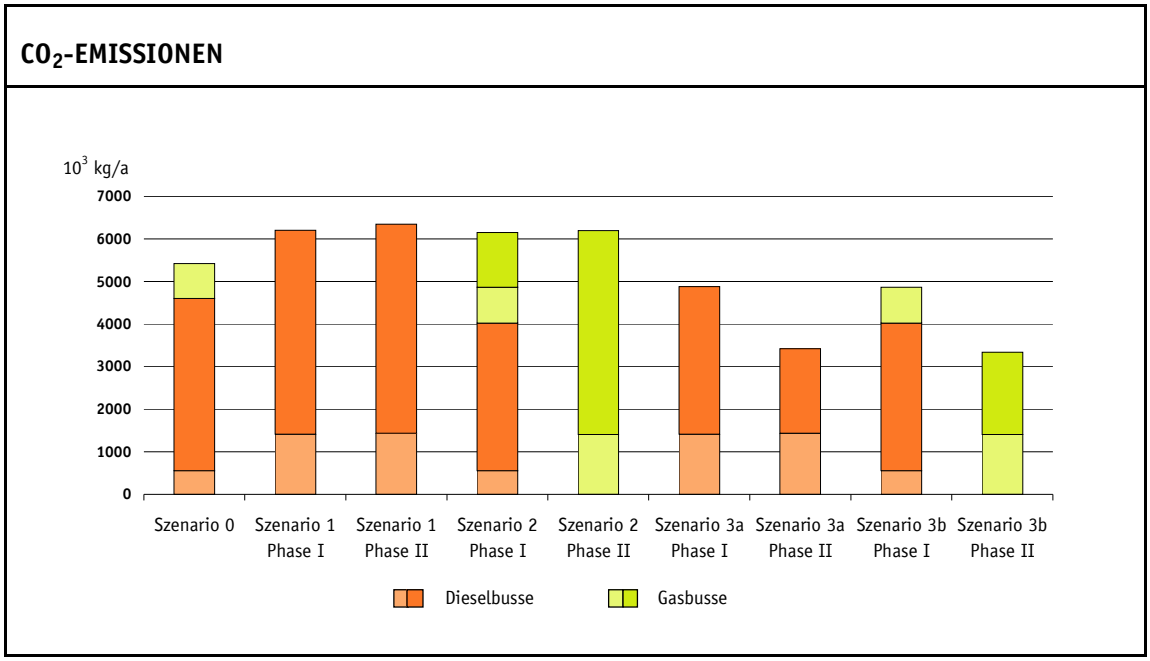
Figur 10 NO_X-Gesamt-Emissionen eines Dieselbusses, Gasbusses (CNG, Biogas) und eines Trolleybusses (Gelenkbus). Die Gesamt-Emissionen setzen sich zusammen aus Vorprozess-Emissionen, welche bei der Her- und Bereitstellung der Treibstoffe (bzw. Elektrizität) anfallen plus Betriebs-Emissionen.

4.2. ENERGIEVERBRAUCH UND KLIMA

Neben der Lufthygiene wird oft der Beitrag zur Reduktion der CO_2-Emissionen als wesentliches Argument für den Einsatz von Gas- oder Trolleybussen genannt. Hierbei sind wie bei den Schadstoffemissionen die CO_2-Emissionen der Vorprozesse und im Betrieb der Busse zu betrachten.

4.2.1. BETRIEB

Die CO2-Emissionen ergeben sich im Wesentlichen aus den Annahmen zum spezifischen Energieverbrauch (vgl. 3.2.3). Die resultierenden CO_2-Emissionen sind in Figur 11 dargestellt.



Figur 11 CO_2-Emissionen der Busflotte BVB in Tonnen pro Jahr für die neuen Busvarianten der oben beschriebenen Szenarien und Phasen. Der Trolleybus emittiert kein klimarelevantes CO_2.

Erdgas versus Biogas

Aufgrund der Aufbereitung von Biogas zu Erdgasqualität emittiert ein Gasbus grundsätzlich die gleiche Menge an Luftschadstoffen, unabhängig davon, ob Erdgas oder Biogas verbrannt wird, d.h. die Emissionen gemäss Figur 8 und Figur 9 bleiben sich gleich für Betrieb mit CNG oder Biogas.

Kohlendioxid ist mengenmässig das wichtigste Endprodukt jedes Verbrennungsprozesses. Problematisch sind die Folgen von zusätzlichen Kohlendioxidkonzentrationen in der Luft, wie sie durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe hervorgerufen werden, da CO_2 massgeblich zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt. Einer der wichtigsten Beiträge von Treibstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist deshalb deren gute Kohlendioxid-Bilanz, da das bei der Verbrennung freigesetzte CO_2 zuvor (durch das Pflanzenwachstum) aus der Atmosphäre gebunden wurde. Die CO_2-Emissionen im Betrieb von Biogas (oder RME) sind daher nicht klimarelevant und werden nicht ausgewiesen.

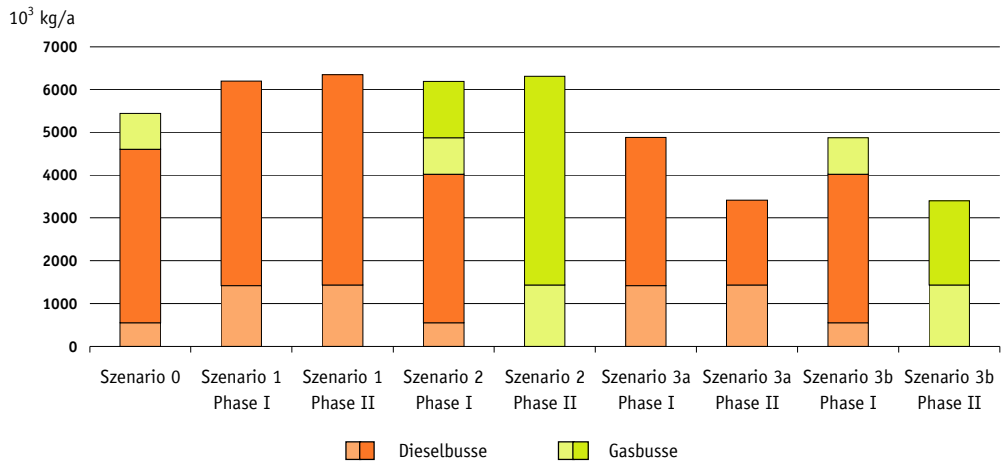
CO_2-Äquivalent-Emissionen

Nebst CO_2 sind Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO) und Lachgas (N_2O) weitere klimarelevante Gase, welche in den Betriebsemissionen von Fahrzeugen zu finden sind. Methan ist in den in den Abgasen vorkommenden Konzentrationen nicht gesundheitsschädlich, weist

jedoch eine 21-mal höhere Treibhauswirksamkeit auf als CO_2. N_2O ist gar 310-mal treibhauswirksamer als CO_2.

Gasbusse emittieren wesentlich höhere Mengen an CH_4 als Dieselbusse (vgl. Annex 4). Es ist aber ebenfalls zu betonen, dass die Grössenordnungen der CH_4- und CO_2-Emissionen sehr unterschiedlich sind. 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. Figur 12 zeigt die CO_2-Äquivalente der Betriebs-Emissionen der verschiedenen Szenarien. Beim Einsatz von Biogas statt CNG sind die CO_2-Äquivalent-Emissionen der Gasbusse gegenüber den Dieselbussen vernachlässigbar (nahe Null) und damit fast auf dem Niveau der Trolleybusse.

CO_2-ÄQUIV. EMISSIONEN



Figur 12 CO_2-äquiv.-Emissionen (hier CO_2 und CH_4) der Busflotte von BVB in Tonnen pro Jahr. Dargestellt sind die Emissionen für die oben beschriebenen Phasen und Szenarien, für den Fall, dass Gasbusse mit CNG betrieben werden. Der Trolleybus emittiert kein klimarelevantes CO_2 bzw. CH_4.

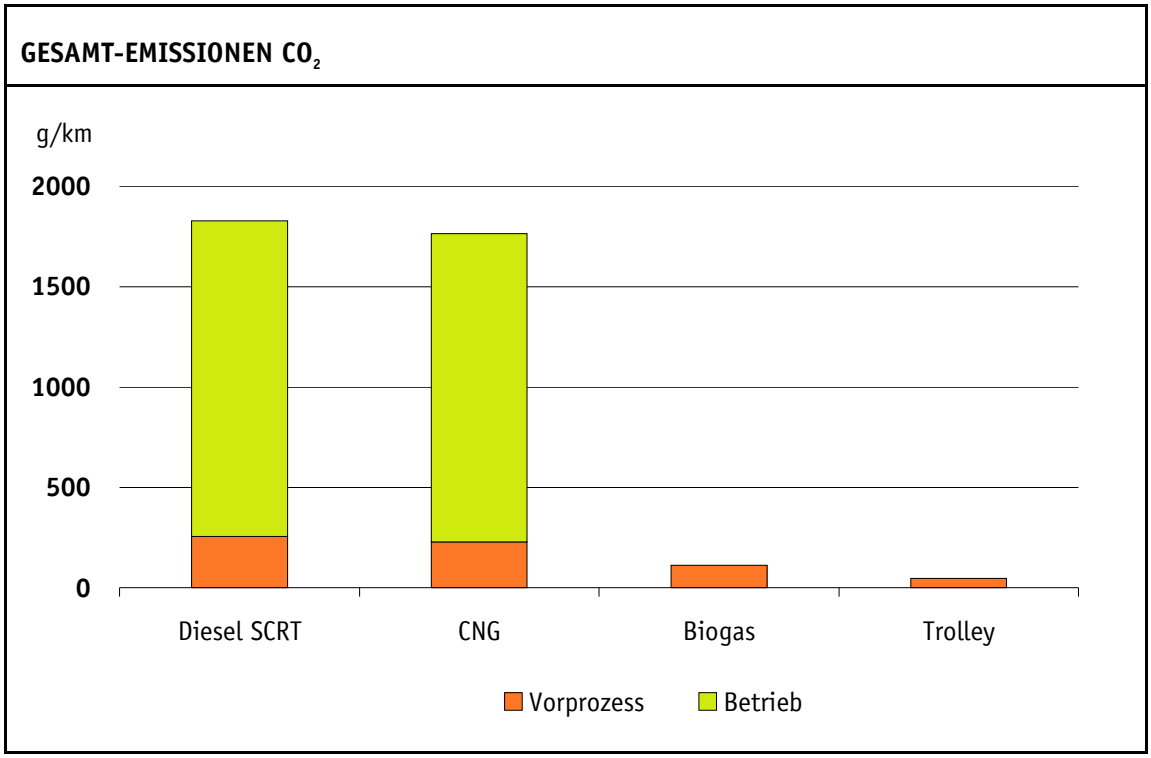
4.2.2. BEREITSTELLUNG VON TREIBSTOFFEN

Es zeigt sich auch hier, dass bei der Herstellung von Diesel die grösste Menge an CO_2 emittiert wird (Figur 13). Erdgas bringt Diesel gegenüber eine Einsparung von rund 20% CO_2, Biogas vermindert die Vorprozess-Emissionen um 60% und Elektrizität (Trolleybus) gar um 80%. Der bei den Betriebsemissionen beobachtete Trend wiederholt sich also auch im Falle von CO_2: Die CO_2-Gesamt-Emissionen eines Gasbusses sind etwas niedriger als diejenigen

eines Dieselbusses. Der Trolleybus und der mit Biogas betriebene Gasbus schneiden klar am besten ab.

Schwieriger ist die Eruierung der CO_2-Emissionen infolge der Bereitstellung von Biodiesel (Annahme RME). Gemäss FAT (2000) verursacht dies CO_2-Emissionen, die um 2.5x höher liegen als bei Diesel. Insgesamt ist dies aber noch immer deutlich weniger als ein Diesel- bzw. Erdgasbus, weil im Betrieb (praktisch) keine CO_2-Emissionen anlastbar sind. Bei 15%-Biodiesel-Anteil verhalten sich die Werte entsprechend dem Mischanteil Diesel/Biodiesel.

Schliesslich bleibt anzumerken, dass auch bezüglich der Gesamt-CO_2-Emissionen die Produktionsweise der Elektrizität grossen Einfluss auf das Resultat hat. Bei deutschem Strommix wird 30x mehr CO_2 emittiert als mit dem schweizerischen Mix, womit deutlich mehr Emissionen anfallen würden als bei der Herstellung von Diesel. Mit deutschem Strommix angetrieben würde ein Trolleybus gesamthaft (Vorprozesse plus Betrieb) gleichviel CO_2 emittieren wie ein Gasbus mit CNG.



Figur 13 CO_2-Gesamt-Emissionen 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.

4.3. LÄRM UND FAHRKOMFORT

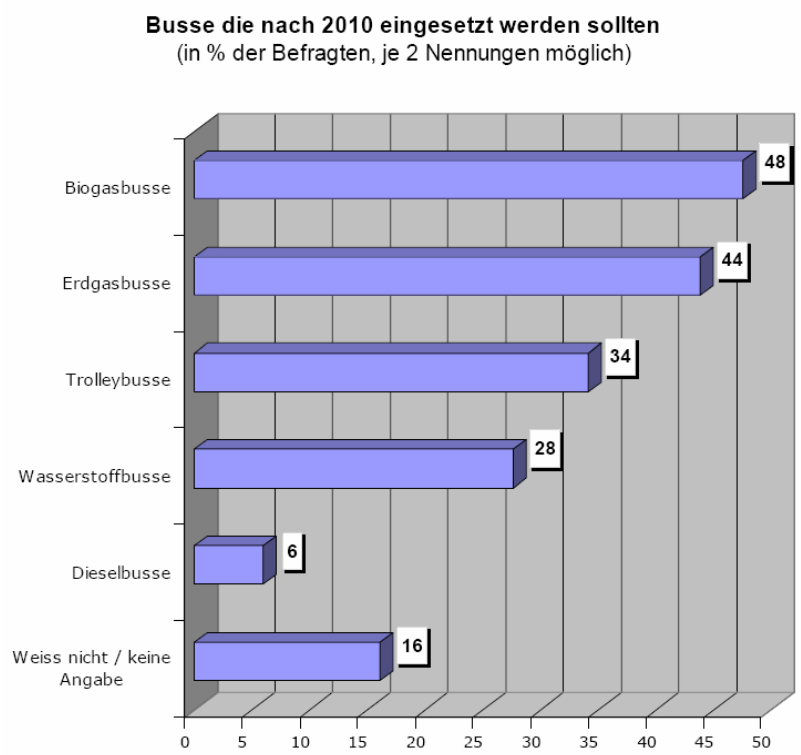
Trolleybusse erzeugen deutlich weniger Lärm als Dieselbusse. GVF (1997) sprechen beispielsweise von einer Verringerung der Lärmemissionen um 55%. In der Stadt Esslingen am Neckar wurden für Trolleybusse 9 dB tiefere Lärmwerte gemessen als für Dieselbusse.

Der Vergleich Diesel- vs. Gasbus zeigt in Sachen Lärm keinen eindeutigen „Gewinner“: Lärmmessungen an Gasbussen des Kanton Glarus (BFE 2004) stellten ausserhalb des Gasbusses 2 bis 11 dB tiefere Lärmwerte fest als bei einem entsprechenden Dieselbus. Diese Messungen werden bestätigt durch Aussagen verschiedener städtischer Betriebe, welche Gasbusse im Einsatz haben (z.B. Frankfurt, Augsburg, Berlin, Olten) sowie weitere Literaturangaben (vgl. z.B. BUWAL 1998). Trefzer Rosa (2004) und Ambühl und Fernandez (2003) hingegen erwähnen keinen signifikanten Unterschied der Lärmemissionen ausserhalb der Busse.

Beim Anfahren aus dem Stillstand fanden Ambühl und Fernandez (2003), dass ein Gasbus deutlich leiser ist als ein Diesel-CRT-Bus (4-9 dB tiefer), währenddem Trefzer Rosa (2004) den Gasbus gleich laut (Anfahren in der Steigung) oder gar lauter einschätzen (Anfahren in der Ebene: 1-3 dB lauter). Weiter wurde gemessen, dass der Dieselbus beim Anhalten 0-8 dB und im Stillstand 0-5 dB lauter ist und der Schallleistungspegel eines Dieselbusses 2-5 dB höher liegt (Trefzer Rosa 2004). Da ein Linienbus im städtischen Verkehr sehr oft anhält und aus dem Stillstand anfährt, ist die Reduktion in diesem Regime ausschlaggebend. Betriebszuständige in Olten führen z.B. aus, dass zu Nachtzeiten Gasbusse auf bestimmten Abschnitten (Strassenschluchten) bei Anwohnern deutlich willkommener sind als Dieselbusse, was vor allem dann vermerkt werde, wenn aus betrieblichen oder technischen Gründen einmal Diesel- statt die angestammten Gasbusse eingesetzt würden.

Man kann aus diesen Hinweisen ableiten, dass Lärm ein Argument ist, das für Trolleybusse spricht. 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 müsste. Das wird beispielsweise auch durch Umfragen in Basel bestätigt, wonach der Gasbus ein überaus positives Image hat und selbst vor dem Trolleybus rangiert.

UMFRAGE-ERGEBNISSE BASEL



Figur 14 Umfrageergebnis zur Art der gewünschten Busse, die nach 2010 eingesetzt werden sollen (Basis: 600 Befragte (Region Basel), Quelle: Novatlantis 2005)

Im Innern des Gasbusses wurden von BFE (2004) leicht höhere Lärmimmissionen gemessen als in einem Dieselbus. VTT (2004) fanden jedoch nur Unterschiede im vernachlässigbaren Mass. 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 (GVF 1997).

4.4. FAZIT ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Die folgende Tabelle gibt schematisch die Folgerungen bezüglich der ökologischen Auswirkungen der verschiedenen Fahrzeugvarianten wieder:

› Bezüglich Lufthygiene und Klimaaspekten ist der Trolleybus mit Stromversorgung aus schweizerischer Produktion unschlagbar.
› Bei den Luftschadstoffen (ob CNG oder Biogas) werden Dieselbus und Gasbus in diesem Vergleich gleichwertig eingestuft, allerdings nur wenn der Dieselbus mit dem Partikelfilter ausgerüstet ist. Damit wird er der Feinstaubproblematik etwa gleichermassen gerecht wie der Gasbus. Unsicherheit besteht, ob die SCRT-Technologie bereits in Kürze in der Lage sein wird, die NO_x-Emissionen auch im ÖV-Realbetrieb abzusenken und somit einen Beitrag zur NO_x- bzw. NO_2-Reduktion zu leisten. Deshalb hat - rechnerisch - der Gasbus noch einen geringen Vorteil gegenüber dem Dieselbus (empirische Grundlagen für die Bestimmung des Emissionsniveaus liegen noch nicht vor, die Rechnungen basieren auf Erwartungswerten). Ähnliches gilt auch für den Gasbus: empirische Zahlen zur Dauerhaftigkeit des tiefen Emissionsniveaus liegen noch nicht vor.
› Bezüglich CO_2-Emissionen stufen wir den Erdgasbus und den Dieselbus etwa gleichwertig ein. Erst wenn der Gasbus mit Biogas betrieben wird, ergeben sich klare Vorteile.
› Lärmseitig ist dem Trolleybus ein klares, dem Gasbus ein moderates Plus zu attestieren.

GESAMTBEWERTUNG DER FAHRZEUG-VARIANTEN

	Diesel SCRT	**CNG**	**Biogas**	**Trolley**
Euro-Norm	5	EEV	EEV	
NOx-Betriebsemissionen	+?	++	++	+++
PM-Betriebsemissionen	++	++	++	+++
Klima	o	o	++	+++
Lärm	o	+	+	++

Tabelle 6 Zusammenfassende Bewertung der Fahrzeug-Varianten anhand verschiedener Kriterien. + bzw. – sind als positive bzw. negative Veränderung gegenüber heute zu interpretieren.

5. KOSTEN-NUTZEN-BETRACHTUNGEN, FOLGERUNGEN

5.1. KOSTENWIRKSAMKEIT

Methodisches

Kosten und Nutzen verschiedener Varianten lassen sich grundsätzlich anhand der Kostenwirksamkeit vergleichen. Diese wird ausgedrückt als Aufwand in CHF, der nötig ist um eine Einheit (Tonne) an Belastung (Schadstoff, CO_2-Emission) zu reduzieren. Die Methode stösst in ihrer Aussagekraft aber aus zwei Gründen an Grenzen:

› Wenn die Differenzen zwischen zwei Varianten sehr klein werden, kann das die Indikatoren stark verzerren. Das ist hier vor allem bei den **Luftschadstoffen** der Fall, denn alle Szenarien – einschliesslich Diesel-Szenario – sind auf optimale Schadstoffminderung ausgelegt, d.h. sie versprechen (zumindest im Vergleich Gas/Diesel) die lufthygienischen Probleme in vergleichbar gutem Mass zu beheben. Somit sind in diesem Fall weniger die spezifischen Kosten (CHF/t) zu vergleichen, vielmehr können direkt die Kosten miteinander verglichen werden.

› Ein zweiter limitierender Faktor ergibt sich daraus, dass solche Massnahmen in der Regel mehrere Ziele gleichzeitig erreichen wollen (CO_2, Schadstoffe, Lärm). Und vergleicht man diese mit Massnahmen aus anderem Kontext (z.B. Investitionen in den ÖV zu dessen Attraktivitätssteigerung), so kommen noch weitere Ziele dazu, wie Steigerung der Standortqualität, verbesserte Erreichbarkeit, Entlastung des Strassennetzes etc. In solchen Fällen müssten die Kosten auf die verschiedenen Ziele aufgeteilt werden, was nicht ohne arbiträre Zuweisung möglich ist.

Trotz dieser Vorbehalte werden im Folgenden Kostenwirksamkeiten anhand der CO_2-Emissionen aufgezeigt – im Bewusstsein, dass es sich dabei um begrenzte Aussagen handelt. Anhand dieser Kenngrössen lassen sich gleichwohl Kosten und (ökologischer) Nutzen der verschiedenen Varianten illustrieren.

Kenngrössen im Vergleich

Die nachstehenden Tabellen zeigen CO_2-Kostenwirksamkeiten, abgeleitet aus der Minderemission bzw. den Mehrkosten, jeweils im Szenario X gegenüber dem Szenario Dieselszenario (Szen. 1).

Kostenwirksamkeit Erdgas	Szenario 2	Szenario 3b
Minderemission ggü Szenario 1 in t CO2	-268	-3'492
Mehrkosten ggü Szenario 1 in kCHF	968	3'556
Kosten in CHF pro Tonne CO2	3'607	1'018

Kostenwirksamkeit Biogas	Szenario 2	Szenario 3b
Minderemission ggü Szenario 1 in t CO2	-6'970	-7'105
Mehrkosten ggü Szenario 1 in kCHF	2'085	3'334
Kosten in CHF pro Tonne CO2	299	469

Kostenwirksamkeit Biodiesel	Szenario 1 mit 15% Biodiesel	Szenario 3a mit 15% Biodiesel
Minderemission ggü Szenario 1 in t CO2	-728	-3'738
Mehrkosten ggü Szenario 1 in kCHF	228	3'134
Kosten in CHF pro Tonne CO2	313	839

Kostenwirksamkeit Trolley	Szenario 3a
Minderemission ggü Szenario 1 in t CO2	-3'347
Mehrkosten ggü Szenario 1 in kCHF	3'010
Kosten in CHF pro Tonne CO2	899

Tabelle 7 Kostenwirksamkeiten in CHF pro eingesparte Tonne CO_2, in den jeweiligen Szenarien im Vergleich zum Dieselszenario. Die Zahlen zu den Kosten finden sich in Annex 2, jene zu den CO_2-Gesamtemissionen in Annex 4 (Tabelle 15).

Interpretation

› **Erdgas**: Die Zahlen zeigen, dass ein „konventionelles" CNG-Szenario keine zielführende CO_2-Massnahme ist. D.h. die Kosten pro eingesparte Tonne CO_2 sind exorbitant hoch. Die Minderemission ist gering, im Extremfall werden gar keine CO_2-Emissionen reduziert. Wenn der Erdgasbus mit Trolleybussen (Szen 3b) kombiniert wird, werden zwar CO_2-Emissionen reduziert, allerdings zu vergleichsweise hohen Kosten pro t CO_2.

› **Biogas**: Erst wenn der Gasbus mit Biogas betrieben wird, ergeben sich klare Vorteile. Einerseits werden CO_2-Reduktionen erreicht und andererseits sinken die spezifischen Kosten in eine vernünftigere Grössenordnung – aber die absoluten Mehrkosten bleiben markant (+2 Mio CHF/a). Eine Kombination mit Trolleybussen bringt keine namhaften zusätzlichen CO_2-Reduktionen, vielmehr steigen die spezifischen wie auch die absoluten Kosten um gut 50% an.

› **Biodiesel**: Die Kosten pro t CO_2 sind vergleichbar mit jenen von Biogas. Allerdings ist das CO_2-Sparpotenzial limitiert, weil eine maximale Beimischung auf 15% Biodiesel unterstellt wurde, und damit sind selbstredend auch die Mehrkosten begrenzt. Eine Kombination mit Trolleybussen steigert zwar die CO_2-Reduktion, gleichzeitig aber auch die Kosten (spezifisch wie absolut).

› **Trolleybus**: Kombiniert man das Dieselszenario mit Trolleys (Szen. 3a), so werden etwa halb soviel CO_2-Emissionen wie im Biogas-Szenario reduziert, aber zu fast 3x höheren spezifischen Kosten – und entsprechend hohen absoluten Kosten.

Diese Optik hat zwar einen eingeschränkten CO_2-Fokus, weil die Lufthygiene nicht (mehr) entscheidende Differenzen zwischen den Varianten produziert. Sie zeigt aber, dass die Variante Biogas den grössten Nutzen bei den kleinsten spezifischen Kosten bringt. Biodiesel hat gleiche relative CO_2-Vorteile, ist aber mengenmässig beschränkt. Es hängt also letztlich von der Zahlungsbereitschaft ab, wie viel „ökologischer Nutzen" erworben werden soll.

Ergänzender Vergleich

› In einer Untersuchung zur CO_2-Abgabe/Klimarappen in INFRAS (2003) wurden folgende Grössenordnungen der Kosten-Wirksamkeit ermittelt:
  - › Zertifikate: der dort mit 18 CHF/t CO_2 angegebene Wert müsste aufgrund der zwischenzeitlichen Entwicklung heute deutlich höher veranschlagt werden (um ca. Faktor 2-3)
  - › CO_2-Abgabe: rund 235 CHF/t CO_2 (wobei der Lenkungseffekt auf rund 70 CHF/t geschätzt wurde)
  - › Förderung Gasfahrzeuge (PW): 120 CHF/t CO_2
  - › Förderung Ethanol: ca. 200 CHF/t CO_2

Diese Zahlen zeigen, dass die in Tabelle 7 ausgewiesenen Werte vergleichsweise hoch liegen, aber auch nicht als explizite CO_2-Reduktionsmassnahmen konzipiert sind, sondern auch andere Vorteile aufweisen.

5.2. FINANZIERUNGSMUSTER

Es ist unstrittig, dass die alternativen Antriebsvarianten Mehrkosten verursachen. Wie oben ausgeführt, verursacht das Biogas-Szenario zwar hohe Kosten, bringt aber – vor allem unter dem Aspekt der Klimaproblematik – auch hohe Nutzen. Diese liegen nicht nur in der Reduktion der CO_2-Emissionen, sondern auch beim Einsatz erneuerbarer Ressourcen und damit auch bei der Unabhängigkeit der Energieversorgung. Diese dürfte einen zunehmenden Stellenwert haben. Überdies hat eine solche Strategie auch eine volkswirtschaftliche Bedeutung, weil mit den erneuerbaren Treibstoffen die gesamte Wertschöpfungskette in der Regi-

on selber liegt. Vor diesem Hintergrund ist letztlich die erhöhte Zahlungsbereitschaft zu beurteilen.

Dass die BVB, die wie praktisch alle ÖV-Unternehmen unter Spardruck stehen, von sich die Variante mit minimalen Kosten favorisieren, ist ein offenes Geheimnis und auch nachvollziehbar. Auf diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob alternative Finanzierungsmöglichkeiten bestehen, um die Mehrkosten zu decken.

Bekanntlich unternimmt die Gasindustrie seit einiger Zeit Anstrengungen, Gas auch als Treibstoff zu portieren. Eine konkrete Stossrichtung besteht in der Förderung von Gasbussen bei städtischen ÖV-Unternehmen. So haben IWB und GVM (Gasverbund Mittelland) den BVB eine entsprechende Offerte unterbreitet. Diese gilt noch immer und schlägt im wesentlichen vor

› Die Mehrkosten der Busse bis max. 70'000 kCHF pro Bus zu übernehmen (GVM),
› Den Treibstoffpreis so an den Dieselpreis zu koppeln, dass den BVB keine Verluste bei den Energiekosten entstehen (IWB),
› Durch Übernahme von Werbeflächen erhöhte Unterhaltskosten abzugelten (IWB).
› Die Tankanlangen-Erweiterung zu regeln.

Durch ein solches Arrangement könnte ein Gasbus-Szenario – zumindest aus Sicht BVB – in der Tat kostenneutral ausfallen. Selbstverständlich „verschwinden" die Mehrkosten dadurch nicht, sie werden lediglich durch andere Akteure übernommen. Man kann zwar argumentieren, dass IWB dadurch eine Gewinneinbusse erleiden und dem Kanton weniger Gewinn abliefern, mithin also der Steuerzahler und der IWB-Konsument in Basel diese Subventionierung finanziert. Das könnte zum einen per se gerechtfertigt werden, denn das Motiv ist der volkswirtschaftliche Nutzen hinter einer solchen Strategie. Einen solchen können wir in einer Erdgas-Variante allein aber nicht erkennen. Vielmehr stellt sich ein ökologischer und volkswirtschaftlicher Nutzen erst in der Kombination mit Biogas ein, d.h. bei einer erneuerbaren Ressource mit regional verankerter Wertschöpfung. Zum andern sehen IWB und GVM zu Recht darin eine PR- und Marketing-Massnahme. Diese könnte dazu führen, dass der Kreis privater Treibstoffkonsumenten zunimmt und mittelfristig über diese Konsumenten die Ausfälle kompensiert werden, so dass der Basler Steuerzahler keine Subventionierung leisten muss. Im Übrigen ist das Arrangement so angelegt, dass der GVM die Fahrzeugmehrkosten übernähme. Das Risiko einer allfälligen Quersubventionierung würde somit durch die Gaskonsumenten im ganzen CH-Mittelland (und nicht durch die Basler Steuerzahler) getragen.

Oben wurde ausgeführt, dass ein ökologischer und volkswirtschaftlicher Nutzen primär bei Einsatz von Biogas entsteht. Dies aber verursacht noch höhere Mehrkosten als das Gas-Szenario, und diese Mehrkosten wären durch das GVM/IWB-Angebot nicht abgedeckt. Vor der gleichen Situation stand die Stadt Bern im Jahr 2004/5. Die Deckungslücke wird dort – aufgrund des ökologischen Nutzens – durch den sog. Ökofonds gedeckt. Eine analoge Möglichkeit besteht im Prinzip in Basel auch, indem Biogas über den Förderfonds gemäss kantonalem Energiegesetz gefördert wird, der zwar seinerseits über eine Abgabe auf dem Strompreis gespiesen wird, aber grundsätzlich für ökologische und nachhaltige Projekte eingesetzt werden kann. Die Biogas-Komponente in einer Variante Gasbus-Szenario dürfte diesen Anforderungen entsprechen.

5.3. FOLGERUNGEN

Allgemeines zu den Varianten

› Die Entwicklung der Antriebstechnologien ist sehr dynamisch, sie steht vor allem auch unter dem Druck, umweltseitige Verbesserungen zu bringen. Deshalb werden für den Vergleich neueste Technologien unterstellt. Diese sind teilweise erst angekündigt und noch nicht auf der Strasse anzutreffen. Deshalb fehlen Erfahrungen, kostenseitig, betriebsseitig wie auch in Sachen Umweltperformance. Die getroffenen Annahmen basieren deshalb auf Erwartungswerten und haben eine gewisse – nicht eliminierbare – Unsicherheit.

› Die Unterschiede zwischen den Varianten in Sachen Schadstoffbelastung (namentlich zwischen Diesel- und Gasbus) treten künftig in den Hintergrund, die Treibhausgas-Problematik dagegen wird relevanter. Lärm- und Fahrkomfort sind weitere Themen der Unterscheidung, diese sind allerdings weniger klar quantitativ fassbar.

› Die hier unterstellten Kostendifferenzen zwischen den verschiedenen Antriebstechnologien sind deutlich kleiner als was die BVB heute erfahren. Unsere Annahmen basieren auf den Erfahrungen anderer TU. Dadurch ist zu erwarten, dass die BVB mit der Basisvariante (Diesel) Spareffekte erzielen werden. Das heisst, dass selbst teurere Varianten nicht zwangsläufig über das heutige Kostenniveau hinausgehen müssen. Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich allerdings nur auf die Differenzen der künftigen Alternativen und macht keine Aussage zum Verhältnis zu den heutigen Kosten.

› Die aufgezeigten vier Varianten Diesel, Gas, Trolley/Diesel und Gas/Diesel führen zu deutlichen Kostendifferenzen. Investitionsseitig gehen sie von 37.5 Mio. CHF im Diesel-Szenario bis knapp 86 Mio. CHF im Trolley/Gasbus-Szenario. Kurzfristig (bis 2015) variie-

ren die Jahreskosten zwischen 2.9 bis 3.5 Mio CHF/a, mittelfristig (nach 2015) zwischen 8.4 und 12 Mio CHF/a (wobei die Systemgrenzen dieser Kostenangaben zu beachten sind).

Zu den Varianten im einzelnen

- Bezüglich Lufthygiene und Klimaaspekten führt zwar – pro km betrachtet – der **Trolleybus** mit Stromversorgung aus schweizerischer Produktion die Rangliste an. Doch müssen diese Vorteile mit hohen Kosten erkauft werden. So sind etwa die spezifischen Kosten der CO_2-Reduktion im Vergleich zum Biogasbus fast 3x höher. Zudem vermag ein Trolley-Diesel-Szenario nur etwa halb soviel CO_2-Emission zu reduzieren wie ein Biogas-Szenario. Lärm- und Fahrkomfortseitig hingegen verbleiben Vorteile.
- Die lufthygienisch relevante Differenz zwischen Gasbus und Dieselbus wird sich künftig verringern, die Treibhausgasproblematik und Verfügbarkeitsfrage wird dominierender. Der **Erdgasbus** wird dafür keine zielführende Massnahme sein, da keine oder nur geringe CO_2-Emissionen eingespart werden, und auch die Abhängigkeit von externen Lieferanten ist nicht wesentlich anders als beim Öl. Wenn der Erdgasbus mit Trolleybussen (Szenario 3b) kombiniert wird, werden zwar CO_2-Emissionen reduziert, allerdings zu vergleichsweise hohen Kosten pro t CO_2.
- Wenn der Gasbus mit **Biogas** betrieben wird, ergeben sich Vorteile. Einerseits wird erst so markant CO_2 reduziert und andererseits sinken die spezifischen Kosten in eine vernünftigere Grössenordnung – aber die absoluten Mehrkosten bleiben markant (+2 Mio CHF/a). Eine Kombination von Biogasbus und Trolleybus macht zumindest aus CO_2-Optik wenig Sinn: sie bringt keine namhaften zusätzlichen CO_2-Reduktionen, hingegen steigen die spezifischen wie auch die absoluten Kosten um rund 50% an.
- Die CO_2-Reduktionskosten pro t von **Biodiesel** sind vergleichbar mit jenen von Biogas. Allerdings ist das CO_2-Sparpotenzial limitiert, weil realistischerweise die Beimischung auf 15% Biodiesel begrenzt bleibt. Eine Kombination mit Trolleybussen steigert zwar die CO_2-Reduktion, gleichzeitig aber auch die Kosten (spezifisch wie absolut). Ein Dilemma bei Biodiesel kann (muss aber nicht) entstehen, wenn die Produktion von Biodiesel mit der Nahrungsproduktion in Konflikt gerät. Biogas ist diesbezüglich weniger problematisch.

Zur Etappierung

- Angesichts der Unsicherheiten in den Erwartungen stellt sich die Frage, welche Varianten mit welchen Spielräumen bzw. Präjudizien in Phase 1 bzw. 2 gekoppelt sind:
  - Ein Systementscheid in Sachen Trolley ist unumgänglich, weil hier Entscheidbedarf besteht (Investitionsstau für bestehende Oberleitungen, Garage). Ein Entscheid für Trolleybusse ist ein langfristiger Entscheid, weil Kapitalkosten bis in den Zeitraum

2030/40 anfallen. Auch lässt sich ein Entscheid für (oder gegen) Trolley in einer zweiten Phase nicht mehr grundlegend umkehren; es könnte in einer zweiten Phase höchstens auf die Elektrifizierung der Linie 36 verzichtet werden.

  - Ein Entscheid pro Diesel und gegen Gasbus wäre faktisch ein Systementscheid, weil dann die Tankanlage demontiert und im Fall eines Meinungswechsels wieder neu aufgebaut werden müsste, was wenig zweckmässig wäre.
  - Ein Entscheid pro Gasbus und gegen Diesel ist nicht zwangsläufig ein Systementscheid. Falls aus irgendwelchen Gründen nötig, könnte in der zweiten Phase noch immer auf den Dieselpfad zurückgekehrt werden ohne grosse Fehlinvestitionen getätigt zu haben.

- Zur Finanzierung: Für den Fall „Gasbus“ besteht nach wie vor eine Offerte von GVM/IWB, Mehrkosten der Erdgasvariante zu übernehmen. Aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht ist eine Erdgasbusvariante jedoch wenig zielführend. Vielmehr gilt: Wenn schon Gas, dann Biogas. Eine Zusatzförderung könnte allenfalls über den Basler Förderfonds erfolgen (analog zum Beispiel in der Stadt Bern). Entsprechende Schritte und Verhandlungen wären einzuleiten.

ANNEX 1: ENERGIEVERBRAUCH UND ENERGIEKOSTEN

Energieverbrauch Gas-/Dieselbus (Bp. Gelenkbus)

Gasbus		
Energieverbrauch	64	kg/100km
Heizwert	46.5	MJ/kg
CO2 Emission	2.56	kg CO2/ kg CNG
Energieverbrauch	2'976	MJ/100 km
CO2-Emission	1'638	g CO2/ km

Dieselbus		
Treibstoffverbrauch	64	l/100km
Dichte	0.832	kg/l
Treibstoffverbrauch	53.248	kg/100 km
Heizwert	42.8	MJ/kg
CO2 Emission	3.1501	kg CO2 / kg Treibstoff
Energieverbrauch	2'279	MJ/100 km
CO2 Emission	1'677	g CO2/ km

Verhältnis Gas/Diesel		
Energieverbrauch	130.6%	bzgl MJ/100 km
CO2 Emission	97.7%	bzgl g CO2/ km

Annahmen zu Energiepreisen

	Diesel	Gas - CNG	Strom
	Rp/l	Rp/kg	Rp/kWh
Reine Energie	0.72	0.63	0.10
MWSt (+Carbura-Abgabe)	0.12	0.06	0.01
Energie inkl MW ohne	0.84	0.69	0.11
Minöst KTU	0.17	0.18	0.00
Total inkl MWSt+MinöSt	1.01	0.87	0.11

ANNEX 2A: INVESTITIONEN JE SZENARIO SOWIE JAHRESKOSTEN: BASIS-RECHNUNG

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Investitionen		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Anz. Fahrzeuge		26	46	72	26	46	72	26	46	72	26	46	72
Investitionen - Fahrzeuge	CHF	12'936'000	24'536'000	37'472'000	14'446'000	27'406'000	41'852'000	17'423'760	29'923'760	47'347'520	18'023'760	31'688'760	49'712'520
Investitionen - Tankanlage	CHF	100'000	0	100'000	500'000	3'000'000	3'500'000	0	0	0	0	1'500'000	1'500'000
Investitionen - Oberleitung	CHF	0	0	0	0	0	0	3'050'000	30'856'071	33'906'071	3'050'000	30'856'071	33'906'071
Investitionen - Garage	CHF	0	0	0	0	0	0	300'000	500'000	800'000	300'000	500'000	800'000
TOTAL	CHF	13'036'000	24'536'000	37'572'000	14'946'000	30'406'000	45'352'000	20'773'760	61'279'831	82'053'591	21'373'760	64'544'831	85'918'591

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten differenziert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'626'280	4'128'297	1'555'981	2'785'026	4'341'007
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'296'501	1'858'685	509'843	1'146'663	1'656'506
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'860'000	2'964'000	1'212'000	2'121'000	3'333'000
Fahrzeug	CHF/a	2'977'821	5'551'607	8'529'428	3'218'662	5'980'850	9'199'512	3'168'200	5'782'781	8'950'982	3'277'824	6'052'689	9'330'514
Tankanlage - Kapitalkosten	CHF/a	6'401	0	6'401	32'006	192'036	224'042	0	0	0	0	96'018	96'018
Tankanlage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-20'000	0	-20'000	20'000	40'000	60'000	-20'000	0	-20'000	20'000	30'000	50'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	126'018	146'018
Oberleitung - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	201'162	2'096'901	2'298'062	201'162	2'096'901	2'298'062
Oberleitung - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	10'000	115'000	125'000	10'000	115'000	125'000
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	2'211'901	2'423'062	211'162	2'211'901	2'423'062
Garage - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
Garage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'535'968	8'435'578	11'971'547
Kapitalkosten	CHF/a	1'130'665	2'167'581	3'298'245	1'292'081	2'617'747	3'909'828	1'730'160	4'768'151	6'498'312	1'784'125	5'022'915	6'807'040
Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'296'501	1'858'685	509'843	1'146'663	1'656'506
Betrieb/Wartung/Unterhalt	CHF/a	816'000	1'656'000	2'472'000	1'090'000	2'110'000	3'200'000	1'094'000	1'975'000	3'069'000	1'242'000	2'266'000	3'508'000
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'535'968	8'435'578	11'971'547

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten aggregiert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'626'280	4'128'297	1'555'981	2'785'026	4'341'007
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'296'501	1'858'685	509'843	1'146'663	1'656'506
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'860'000	2'964'000	1'212'000	2'121'000	3'333'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	126'018	146'018
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	2'211'901	2'423'062	211'162	2'211'901	2'423'062
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'535'968	8'435'578	11'971'547
Differenz zum Diesel-Szen.	CHF/a				306'446	661'279	967'724	522'122	2'488'046	3'010'167	671'746	2'883'971	3'555'717

ANNEX 2B: SENSITIVITÄTSRECHNUNG: KOSTEN OHNE ELEKTRIFIZIERUNG LINIE 36

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Investitionen		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Anz. Fahrzeuge		26	46	72	26	46	72	26	46	72	26	46	72
Investitionen - Fahrzeuge	CHF	12'936'000	24'536'000	37'472'000	14'446'000	27'406'000	41'852'000	17'423'760	24'536'000	41'959'760	18'023'760	27'406'000	45'429'760
Investitionen - Tankanlage	CHF	100'000	0	100'000	500'000	3'000'000	3'500'000	0	0	0	0	3'000'000	3'000'000
Investitionen - Oberleitung	CHF	0	0	0	0	0	0	3'050'000	0	3'050'000	3'050'000	0	3'050'000
Investitionen - Garage	CHF	0	0	0	0	0	0	300'000	0	300'000	300'000	0	300'000
TOTAL	CHF	13'036'000	24'536'000	37'572'000	14'946'000	30'406'000	45'352'000	20'773'760	24'536'000	45'309'760	21'373'760	30'406'000	51'779'760

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten differenziert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'167'581	3'669'597	1'555'981	2'425'711	3'981'693
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'728'026	2'290'210	509'843	1'485'138	1'994'981
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'656'000	2'760'000	1'212'000	2'070'000	3'282'000
Fahrzeug	CHF/a	2'977'821	5'551'607	8'529'428	3'218'662	5'980'850	9'199'512	3'168'200	5'551'607	8'719'807	3'277'824	5'980'850	9'258'674
Tankanlage - Kapitalkosten	CHF/a	6'401	0	6'401	32'006	192'036	224'042	0	0	0	0	192'036	192'036
Tankanlage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-20'000	0	-20'000	20'000	40'000	60'000	-20'000	0	-20'000	20'000	40'000	60'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	232'036	252'036
Oberleitung - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	201'162	0	201'162	201'162	0	201'162
Oberleitung - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	10'000	0	10'000	10'000	0	10'000
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	0	211'162	211'162	0	211'162
Garage - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	0	26'982	26'982	0	26'982
Garage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	0	26'982	26'982	0	26'982
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	5'551'607	8'937'951	3'535'968	6'212'886	9'748'854
Kapitalkosten	CHF/a	1'130'665	2'167'581	3'298'245	1'292'081	2'617'747	3'909'828	1'730'160	2'167'581	3'897'741	1'784'125	2'617'747	4'401'872
Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'728'026	2'290'210	509'843	1'485'138	1'994'981
Betrieb/Wartung/Unterhalt	CHF/a	816'000	1'656'000	2'472'000	1'090'000	2'110'000	3'200'000	1'094'000	1'656'000	2'750'000	1'242'000	2'110'000	3'352'000
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	5'551'607	8'937'951	3'535'968	6'212'886	9'748'854

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten aggregiert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'167'581	3'669'597	1'555'981	2'425'711	3'981'693
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	788'587	1'485'138	2'273'726	562'184	1'728'026	2'290'210	509'843	1'485'138	1'994'981
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'656'000	2'760'000	1'212'000	2'070'000	3'282'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	232'036	252'036
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	0	211'162	211'162	0	211'162
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	0	26'982	26'982	0	26'982
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'170'668	6'212'886	9'383'554	3'386'344	5'551'607	8'937'951	3'535'968	6'212'886	9'748'854
Differenz zum Diesel-Szen.	CHF/a				306'446	661'279	967'724	522'122	0	522'122	671'746	661'279	1'333'024

ANNEX 2C: SENSITIVITÄTSRECHNUNG: KOSTEN VARIANTE BIOGAS

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Investitionen		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Anz. Fahrzeuge		26	46	72	26	46	72	26	46	72	26	46	72
Investitionen - Fahrzeuge	CHF	12'936'000	24'536'000	37'472'000	14'446'000	27'406'000	41'852'000	17'423'760	29'923'760	47'347'520	18'023'760	31'688'760	49'712'520
Investitionen - Tankanlage	CHF	100'000	0	100'000	500'000	3'000'000	3'500'000	0	0	0	0	1'500'000	1'500'000
Investitionen - Oberleitung	CHF	0	0	0	0	0	0	3'050'000	30'856'071	33'906'071	3'050'000	30'856'071	33'906'071
Investitionen - Garage	CHF	0	0	0	0	0	0	300'000	500'000	800'000	300'000	500'000	800'000
TOTAL	CHF	13'036'000	24'536'000	37'572'000	14'946'000	30'406'000	45'352'000	20'773'760	61'279'831	82'053'591	21'373'760	64'544'831	85'918'591

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten differenziert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'626'280	4'128'297	1'555'981	2'785'026	4'341'007
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	1'176'066	2'214'873	3'390'939	562'184	1'296'501	1'858'685	667'096	1'596'837	2'263'933
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'860'000	2'964'000	1'212'000	2'121'000	3'333'000
Fahrzeug	CHF/a	2'977'821	5'551'607	8'529'428	3'606'141	6'710'584	10'316'725	3'168'200	5'782'781	8'950'982	3'435'077	6'502'864	9'937'940
Tankanlage - Kapitalkosten	CHF/a	6'401	0	6'401	32'006	192'036	224'042	0	0	0	0	96'018	96'018
Tankanlage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-20'000	0	-20'000	20'000	40'000	60'000	-20'000	0	-20'000	20'000	30'000	50'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	126'018	146'018
Oberleitung - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	201'162	2'096'901	2'298'062	201'162	2'096'901	2'298'062
Oberleitung - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	10'000	115'000	125'000	10'000	115'000	125'000
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	2'211'901	2'423'062	211'162	2'211'901	2'423'062
Garage - Kapitalkosten	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
Garage - Betrieb/Unterhalt	CHF/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'558'147	6'942'620	10'500'767	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'693'221	8'885'753	12'578'974
Kapitalkosten	CHF/a	1'130'665	2'167'581	3'298'245	1'292'081	2'617'747	3'909'828	1'730'160	4'768'151	6'498'312	1'784'125	5'022'915	6'807'040
Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	1'176'066	2'214'873	3'390'939	562'184	1'296'501	1'858'685	667'096	1'596'837	2'263'933
Betrieb/Wartung/Unterhalt	CHF/a	816'000	1'656'000	2'472'000	1'090'000	2'110'000	3'200'000	1'094'000	1'975'000	3'069'000	1'242'000	2'266'000	3'508'000
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'558'147	6'942'620	10'500'767	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'693'221	8'885'753	12'578'974

		Szen 1 - Diesel			Szen 2 - Gas			Szen 3a - Trolley / Diesel			Szen 3b - Trolley / Gas		
Jahreskosten aggregiert		Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total	Phase I	Phase II	Total
Fahrzeug - Kapitalkosten	CHF/a	1'124'264	2'167'581	3'291'844	1'260'075	2'425'711	3'685'786	1'502'016	2'626'280	4'128'297	1'555'981	2'785'026	4'341'007
Fahrzeug - Energiekosten	CHF/a	917'558	1'728'026	2'645'584	1'176'066	2'214'873	3'390'939	562'184	1'296'501	1'858'685	667'096	1'596'837	2'263'933
Fahrzeug - Wartung	CHF/a	936'000	1'656'000	2'592'000	1'170'000	2'070'000	3'240'000	1'104'000	1'860'000	2'964'000	1'212'000	2'121'000	3'333'000
Tankanlage	CHF/a	-13'599	0	-13'599	52'006	232'036	284'042	-20'000	0	-20'000	20'000	126'018	146'018
Oberleitung	CHF/a	-100'000	0	-100'000	-100'000	0	-100'000	211'162	2'211'901	2'423'062	211'162	2'211'901	2'423'062
Garage	CHF/a	0	0	0	0	0	0	26'982	44'971	71'953	26'982	44'971	71'953
TOTAL	CHF/a	2'864'223	5'551'607	8'415'830	3'558'147	6'942'620	10'500'767	3'386'344	8'039'652	11'425'997	3'693'221	8'885'753	12'578'974
Differenz zum Diesel-Szen.	CHF/a				693'924	1'391'013	2'084'938	522'122	2'488'046	3'010'167	828'998	3'334'146	4'163'144

ANNEX 3: EMISSIONSGRENZWERTE SCHWERE MOTORWAGEN (MIT DIESELMOTOR)

Norm	Etappe	Inkraft-treten	Mess-zyklus	Grenzwerte [g/kWh]				
				CO	HC	NO_x	$HC+NO_x$	Part.
FAV 2	FAV 2-1	1.10.1987	ECE 49	8.40	2.10	14.4	-	-
	FAV 2-2	1.10.1991	ECE 49	4.90	1.23	9.0	-	0.70
	FAV 2-3	1.10.1993	ECE 49	4.90	1.23	9.0	-	0.40
TAFV 1	Euro-2	1.10.1996	ECE 49	4.00	1.10	7.0	-	0.15
Gemäss Beschluss des EU-Parlaments vom 16. Nov. 1999*):								
	Euro-3	ab 2000/1	ESC	2.10	0.66	5.0	-	0.10
	Euro-3	ab 2000/1	ETC	5.45	0.78	5.0	-	0.16
	Euro-4	ab 2005/6	ESC	1.50	0.46	3.5	-	0.02
	Euro-4	ab 2005/6	ETC	4.00	0.55	3.5	-	0.03
	Euro-5	ab 2008/9	ESC	1.50	0.46	2.0	-	0.02
	Euro-5	ab 2008/9	ETC	4.00	0.55	2.0	-	0.03
Europäische Stufen (für CH nicht relevant)								
88/77/EWG	*„Euro-0“*	*vor 1992*	*ECE 49*	*12.3*	*2.6*	*15.8*		*-*
91/542/EG	*Euro-1*	*ab 1992/3*	*ECE 49*	*4.9*	*1.23*	*9.0*		*0.4*

Tabelle 8 Emissionsgrenzwerte schwere Motorwagen. *) für die Typengenehmigung gilt jeweils das erstgenannte Jahr (Stichtag 1.10.), für die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme jeweils das Folgejahr (Stichtag 1.10.)

ANNEX 4: EMISSIONEN DER BVB

Emissionsfaktoren

Fahrzeug	Euro-Norm	System	NO_x	PM	CO_2	CH_4	Einheit
Standardbus Diesel	2	CRT	15.4	0.031	1154	0.003	g/km
Gelenkbus Diesel	2	CRT	19.4	0.044	1520	0.004	g/km
Standardbus Diesel	5	SCRT	4.8	0.009	1197	0.004	g/km
Gelenkbus Diesel	5	SCRT	6.2	0.011	1573	0.004	g/km
Standardbus CNG	Jg. 1995		5.5	0.012	1127	1.514	g/km
Standardbus CNG	EEV	stoich., 3-way-cat	2.2	0.007	1169	1.176	g/km
Gelenkbus CNG	EEV	stoich., 3-way-cat	2.8	0.008	1536	1.296	g/km
Standardbus Biogas	Jg. 1995		5.5	0.012	0	1.514	g/km
Standardbus Biogas	EEV	stoich., 3-way-cat	2.2	0.007	0	1.176	g/km
Gelenkbus Biogas	EEV	stoich., 3-way-cat	2.8	0.008	0	1.296	g/km
Gelenkbus Trolley			0.0	0.000	0	0.000	g/km

Tabelle 9 Betriebs-Emissionsfaktoren der analysierten Fahrzeuge.

NO_x-Emissionen

Fahrzeuge	Euro-Norm	Szenario 0	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3A		Szenario 3B	
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Standardbusse Diesel CRT	2	7'392	7'392	0	7'392	0	7'392	0	7'392	0
Gelenkbusse Diesel CRT	2	51'719	44'231	0	44'231	0	44'231	0	44'231	0
Standardbusse CNG		3'943	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Trolley		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardbusse Diesel SCRT	5	0	3'441	5'734	0	0	3'441	5'734	0	0
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	0	5'186	19'260	0	0	0	7'778	0	0
Standardbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	1'584	2'640	0	0	1'584	2'640
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	2'387	8'867	0	0	0	3'581
Total		63'054	60'250	24'995	55'595	11'507	55'064	13'513	53'207	6'221
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Standardbusse Diesel CRT	2	12	12	-	13	-	13	-	14	-
Gelenkbusse Diesel CRT	2	82	73	-	80	-	80	-	83	-
Standardbusse CNG		6	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Trolley		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardbusse Diesel SCRT	5	-	6	23	-	-	6	42	-	-
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	-	9	77	-	-	-	58	-	-
Standardbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	3	23	-	-	3	42
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	4	77	-	-	-	58
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 10 NO_X-Emissionen (Betrieb) der Busflotte der BVB in kg pro Jahr und in % für die analysierten Szenarien und Phasen.

Feinstaub-Emissionen

Fahrzeuge	Euro-Norm	Szenario 0	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3A		Szenario 3B	
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Standardbusse Diesel CRT	2	15	15	0	15	0	15	0	15	0
Gelenkbusse Diesel CRT	2	117	100	0	100	0	100	0	100	0
Standardbusse CNG		9	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Trolley		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardbusse Diesel SCRT	5	0	7	11	0	0	7	11	0	0
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	0	9	34	0	0	0	14	0	0
Standardbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	5	8	0	0	5	8
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	7	26	0	0	0	10
Total		140	131	46	127	34	121	25	120	19
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Standardbusse Diesel CRT	2	11	11	-	12	-	12	-	12	-
Gelenkbusse Diesel CRT	2	83	76	-	79	-	82	-	83	-
Standardbusse CNG		6	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Trolley		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardbusse Diesel SCRT	5	-	5	25	-	-	6	45	-	-
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	-	7	75	-	-	-	55	-	-
Standardbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	4	25	-	-	4	45
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	5	75	-	-	-	55
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 11 Feinstaub-Emissionen (Betrieb) der Busflotte der BVB in kg pro Jahr und in % für die analysierten Szenarien und Phasen.

CO_2-Emissionen

Fahrzeuge	Euro-Norm	Szenario 0	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3A		Szenario 3B	
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
Standardbusse Diesel CRT	2	554	554	0	554	0	554	0	554	0
Gelenkbusse Diesel CRT	2	4'051	3'465	0	3'465	0	3'465	0	3'465	0
Standardbusse CNG		811	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Trolley		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardbusse Diesel SCRT	5	0	862	1'437	0	0	862	1'437	0	0
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	0	1'321	4'906	0	0	0	1'981	0	0
Standardbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	842	1'403	0	0	842	1'403
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	1'290	4'792	0	0	0	1'935
Total		5'416	6'201	6'343	6'151	6'196	4'880	3'418	4'860	3'339
			Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II	Phase I	Phase II
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Standardbusse Diesel CRT	2	10	9	-	9	-	11	-	11	-
Gelenkbusse Diesel CRT	2	75	56	-	56	-	71	-	71	-
Standardbusse CNG		15	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Trolley		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardbusse Diesel SCRT	5	-	14	23	-	-	18	42	-	-
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	-	21	77	-	-	-	58	-	-
Standardbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	14	23	-	-	17	42
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	21	77	-	-	-	58
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 12 CO_2-Emissionen (Betrieb) der Busflotte der BVB in t pro Jahr und in % für die analysierten Szenarien und Phasen (Gasbusse mit CNG betrieben).

CO_2-Emissionen										
Fahrzeuge	**Euro-Norm**	**Szenario 0**	**Szenario 1**		**Szenario 2**		**Szenario 3A**		**Szenario 3B**	
			Phase I	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**
		t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a	t/a
Standardbusse Diesel CRT	2	554	554	0	554	0	554	0	554	0
Gelenkbusse Diesel CRT	2	4'051	3'465	0	3'465	0	3'465	0	3'465	0
Standardbusse Biogas		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Trolley		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardbusse Diesel SCRT	5	0	862	1'437	0	0	862	1'437	0	0
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	0	1'321	4'906	0	0	0	1'981	0	0
Standardbusse Biogas stöch.	EEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Biogas stöch.	EEV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		4'605	6'201	6'343	4'018	0	4'880	3'418	4'018	0
			Phase I	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Standardbusse Diesel CRT	2	12	9	-	14	-	11	-	14	-
Gelenkbusse Diesel CRT	2	88	56	-	86	-	71	-	86	-
Standardbusse Biogas		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Trolley		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardbusse Diesel SCRT	5	-	14	23	-	-	18	42	-	-
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	-	21	77	-	-	-	58	-	-
Standardbusse Biogas stöch.	EEV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Biogas stöch.	EEV	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		100	100	100	100	-	100	100	100	-

Tabelle 13 CO_2-Emissionen (Betrieb) der Busflotte der BVB in t pro Jahr und in % für die analysierten Szenarien und Phasen (Gasbusse mit Biogas betrieben).

CH_4-Emissionen										
Fahrzeuge	**Euro-Norm**	**Szenario 0**	**Szenario 1**		**Szenario 2**		**Szenario 3A**		**Szenario 3B**	
			Phase I	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**
		kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a	kg/a
Standardbusse Diesel CRT	2	2	2	0	2	0	2	0	2	0
Gelenkbusse Diesel CRT	2	10	8	0	8	0	8	0	8	0
Standardbusse CNG		1'090	0	0	0	0	0	0	0	0
Gelenkbusse Trolley		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardbusse Diesel SCRT	5	0	3	5	0	0	3	5	0	0
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	0	4	13	0	0	0	5	0	0
Standardbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	847	1'411	0	0	847	1'411
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	0	0	0	1'089	4'043	0	0	0	1'633
Total		1'102	16	18	1'945	5'455	13	10	857	3'044
			Phase I	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**	**Phase I**	**Phase II**
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
Standardbusse Diesel CRT	2	-	10	-	0	-	13	-	-	-
Gelenkbusse Diesel CRT	2	1	52	-	0	-	66	-	1	-
Standardbusse CNG		99	-	-	-	-	-	-	-	-
Gelenkbusse Trolley		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Standardbusse Diesel SCRT	5	-	17	26	-	-	21	46	-	-
Gelenkbusse Diesel SCRT	5	-	22	74	-	-	-	54	-	-
Standardbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	44	26	-	-	99	46
Gelenkbusse CNG stöch.	EEV	-	-	-	56	74	-	-	-	54
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 14 Methan-Emissionen (Betrieb) der Busflotte der BVB in kg pro Jahr und in % für die analysierten Szenarien und Phasen.

Total CO2-Emissionen (Betrieb und Vorprozesse)

		Emissionen	Rel. zu Szen. 1 (Diesel)	
		t	t	%
Szenario 0		6'409	-	-
Szenario 1	Diesel	7'456	-	-
Szenario 1	BioDiesel (15%)	6'729	-728	-9.8%
Szenario 2	CNG	7'188	-268	-3.6%
Szenario 2	Biogas	486	-6'970	-93.5%
Szenario 3a	Diesel	4'110	-3'347	-44.9%
Szenario 3a	BioDiesel (15%)	3'719	-3'738	-50.1%
Szenario 3b	CNG	3'964	-3'492	-46.8%
Szenario 3b	Biogas	351	-7'105	-95.3%

Tabelle 15 CO_2-Gesamtemissionen (Betrieb+Vorprozesse, ab 2015) der Busflotte der BVB in t pro Jahr und in % relativ zu Szenario 1 mit konventionellem Diesel.

GLOSSAR

ADFV:	Verordnung über Abgeltungen, Darlehen und Finanzhilfen nach Eisenbahngesetz (Abgeltungsverordnung)
AGR:	Abgasrückführung
BFE:	Bundesamt für Energie
BUWAL:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
BVB:	Basler Verkehrsbetriebe
CH_4:	Methan
CNG:	Compressed Natural Gas (Erdgas)
CO:	Kohlenmonoxid
CO_2 :	Kohlendioxid
COST 346:	Cost-Aktion zum Thema "Emissions and fuel consumption of Heavy Duty Vehicles"
CRT:	Continuously Regeneration Trap (Partikelfilter-Typ)
EEV:	Enhanced Environmentally-friendly Vehicle
EFA, E-Faktor:	Emissionsfaktor
EMPA:	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
Euro-1, -2, -3, -4, -5:	Europäische Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen
ETC:	European Transient Cycle
ESC:	European Stationary Cycle
FAME:	fatty acid methylene ester (Fettsäuremethylester)
FzKm:	Fahrzeug-Kilometer
GEF:	Global Environment Facility
GVM:	Gasverband Mittelland
HBEFA:	Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
HC:	Kohlenwasserstoffe
IWB:	Industrielle Werke, Basel
LBus:	Linienbus (= ÖV-Bus)
LW,KW:	Lastkraftwagen
LSVA:	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
N_2O:	Lachgas
NH_3:	Ammoniak
NMHC:	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe

NMOG:	Non-Methane Organic Gases
NO_x :	Stickoxide
ÖV:	Öffentlicher Verkehr
PM, Part.:	Partikel (particulate matters)
PF:	Partikelfilter
RME:	Rapsmethylester
SCR	Selective Catalytic Reduction
SCRT:	Selective Catalytic Reduction Trap [=Kombination aus Partikelfilter (CRT, continuously regeneration trap) und SCR-System]
SO_2:	Schwefeldioxid
SVF:	Stadtverkehrsgesellschaft mbH Frankfurt (Oder)
SVGW:	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
TU:	Transport-Unternehmung
UITP:	Internationaler Verband des öffentlichen Verkehrs
UREK-NR:	Nationalrätliche Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie
VDV:	Verband deutscher Verkehrsunternehmen
VEC:	Volvo Emission Control
VERT:	Verminderung der Emissionen von Realmaschinen im Tunnelbau (BUWAL 2004b)

LITERATUR

Ambühl und Fernandez 2003: Ambühl, D. und J. Fernandez. Erdgasbusprojekt 2002/2003, ETH, im Auftrag des BFE. Zu beziehen bei Hrn. Pulfer, BFE.

BFE 2004: 3. Jahresbericht EnergieSchweiz 2003/04, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern 2004

BUWAL 1998: Gasbusse in Basel, Erfahrungsbericht, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, BUWAL, Umwelt-Materialien Nr. 103, Bern 1998

BUWAL 2004a: Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr, HB-EFA, Version 2.1. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, Bern 2004

BUWAL 2004b: VERT-Filterliste, Geprüfte und erprobte Partikelfilter-Systeme für die Nachrüstung von Dieselmotoren, (anerkannt durch BUWAL, Suva, TBG, AUVA, TRGS, UBA, MSHA, DEEP, CARB), herausgegeben vom BUWAL, Schriftenreihe Vollzug Umwelt, Bern März 2004

BUWAL 2005: Ökoprofile von Treibstoffen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, BUWAL Umwelt-Materialien, in Bearbeitung, Bern 2005

EBP 1995: Systemvergleich zwischen Trolleybus, Dieselbus und Erdgasbus, Grundlagen und Fallstudie für die Buslinie 4 in Winterthur, Oktober 1995

ecoinvent 2004: ecoinvent Centre 2004, ecoinvent data v1.1, CD-ROM, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004

EFD 2004: Fiskalische Förderung von Erd- und Flüssiggas sowie Biogas und anderen Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen (Änderung des Mineralölsteuergesetzes), Erläuternder Bericht, Eidg. Finanzdepartement EFD, 20. Okt. 2004

EPA 2002: A Comprehensive Analysis of Biodiesel, Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report, United States Environmental Protection Agency, EPA420-P-02-001, 2002

FAT 2000: Ökologische und ökonomische Bewertung von Bioenergieträgern, FAT-Schriftenreihe Nr. 52, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon 2000

HPF 2005: European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform, Deployment Strategy 2005

ITB 2003: Untersuchung von Biodiesel und seinen Gemischen mit fossilem Dieselkraftstoff auf limitierte Emissionen, Institut für Technik und Biosystemtechnologie, Braunschweig und Coburg 2003

Mayer et al. 2005: A. Mayer, J. Czerwinski, M. Wyser, P. Mattrel, A. Heitzer. Impact of RME/Diesel Blends on Particle Formation, Particle Filtration and PAH Emissions. SAE International 05P-724, 2005

Novatlantis 2005: Betriebserfahrungen und Bevölkerungsakzeptanz von Erdgas- und Biogasbussen, April 2005

LHA 1998: Emissionskataster BS/BL Teil Verkehr – Linienbusse, Infras im Auftrag Lufthygieneamt beider Basel, Bern/Zürich 1998

Pütz 2004: Der Branchenverband: der Wettbewerb der Antriebssysteme in der Praxis von Verkehrsunternehmen, Vortrag 18./19.11.2004 an der Tagung „Umwelt hat Vorfahrt" im Haus der Technik in Essen D

Regionale Schienen 2004: „Salzburger Verkehrsgespräche 2004", Symposiumsbericht 13.-15.5.2004

Snaga 2004: Methode und Ergebnisse der vergleichenden Kosten- und Risikoanalyse von Busflotten mit Diesel- und Erdgasantrieb, Vortrag 18./19.11.2004 an der Tagung „Umwelt hat Vorfahrt" im Haus der Technik in Essen D

SVGW 2005: Busvergleichsstudie zwischen einem Niederflur MAN 313 Diesel- und Erdgasbus, Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, Schwerzenbach 2005

TNO 2003: Van Ling, J., Van Helden, R., Riemersma, I., TNO, Comparison of Particle Size Distribution and Emissions from Heavy-Duty Diesel Engines and Gas Engines for Urban Buses, 12th International Scientific Symposium on Transport and Air Pollution, Avignon 2003

Trefzer Rosa 2004: Trefzer Rosa + Partner GmbH, Bericht über die Lärmemissionsmessungen am MAN 2-Achser-Gasbus und am MAN 2-Achser-Dieselbus, Nusshof 2004

TUG 2002: Update of the Emission Functions for Heavy Duty Vehicles in the Handbook Emission Factors for Road Traffic (Aktualisierung der Emissionsfunktionen für schwere Nutzfahrzeuge im Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs), im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Umweltbundesamts Österreich, Graz, 16.12.2002

UBA 2005: Stellungnahme zum CRT-Russfilter, Umweltbundesamt Berlin, [http://www.umweltbundesamt.de-verkehr-techemissmm-technik-crt-crt.htm]

UITP 2004: Clean Fuels for Road Public Transport, Report D/2004/0105/15, edited by UITP Bus Committee, Brüssel 2004

Verkehrsbetriebe Winterthur 2002: Systemvergleich Trolley-, Diesel- und (Bio-)Gasbus, Verkehrsbetriebe Winterthur und Bundesamt für Energie, Winterthur 2002

VITO 2001: Pelkmans, L. and Lenaers, G., Emissions and Fuel Consumption of Natural Gas Powered City Buses Versus Diesel Buses in Real-city Traffic. IEA-AMF, Annex XVii, Vito, Boeretang 2001

VITO 2004: Thompson, N., et al., Overview of the European « Particulates » Project on the Characterization of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles, Results for Heavy-Duty Engines, Particulates Project, Antwerp 2004

VTT 2004: Transit Bus Emission Study: Comparison of Emissions from Diesel and Natural Gas Buses, Research Report PRO3/P5150/04, VTT Processes, Espoo 2004