Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

DIE EINFÜHRUNG VON GASBUSSEN BEI BERNMOBIL

EIN ERFAHRUNGSBERICHT

Ausgearbeitet durch

D. Finger, INFRAS
Mühlemattstr. 45, 3007 Bern, david.finger@infras.ch, www.infras.ch

N. Kljun, INFRAS
Mühlemattstr. 45, 3007 Bern, natascha.kljun@infras.ch, www.infras.ch

M. Keller, INFRAS
Mühlemattstr. 45, 3007 Bern, mario.keller@infras.ch, www.infras.ch

Impressum

Datum: 30. September 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Biomasse

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, bruno.guggisberg@bfe.admin.ch

Projektnummer: 101462

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ... 3
1. Ausgangslage und Ziele ... 5
2. Vorgehen ... 6
3. Die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL ... 7
3.1 Übersicht ... 7
3.2 Technische Kenngrössen der Fahrzeuge ... 8
3.3 Chronologie der Einführung ... 9
4. Modul 1: Erfahrungen mit der CNG-Technologie ... 11
4.1 Bauliche und betriebliche Massnahmen im Busdepot ... 11
4.1.1 Infrastruktur ... 11
4.1.2 Betriebliche Massnahmen ... 13
4.1.3 Sicherheit ... 13
4.2 Bau und Betrieb der Gas-Tankanlage ... 14
4.3 Störfälle bei den Gasbussen ... 17
4.3.1 Auswechslung der Zylinderköpfe ... 17
4.3.2 Störfälle bei den Gasbussen ... 17
4.3.3 Störfälle, die auf den CNG-Antrieb zurückzuführen sind ... 18
4.4 Zuverlässigkeit der Gasbusse ... 19
5. Modul 2: Treibstoff- und Energieverbrauch ... 21
5.1 Treibstoffverbrauch der Autobusse ... 21
5.2 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen von Diesel- und Gasbussen ... 22
6. Modul 3: Emissionen und Lufthygiene ... 24
6.1 Messung des Schadstoffausstosses auf dem Berner Stadtnetz ... 24
6.2 Messungen auf dem Rollenprüfstand ... 26
6.3 Vergleich der Emissionen verschiedener Bustypen auf dem Rollenprüfstand ... 27
6.4 Immissionen Lufthygiene ... 29
6.5 Lärm Immissionen ... 30
6.6 *Life-Cycle* Betrachtung des Busbetriebs nach Treibstoffart ... 31
6.6.1 Kurzbeschreibung der drei Systeme ... 33
6.6.2 Bewertungsmethode und Schadstoffpakete: Biogas aus der ARA ... 34
6.6.3 Sachbilanz ... 34
6.6.4 Vergleich der Umweltbelastungen ... 39
7. Modul 4: Betriebliche Umstellungen ... 41
7.1 Mehraufwand beim Tanken ... 41
7.2 Ausbildung der Mitarbeiter ... 41
8. Modul 5: Finanzielle Aspekte ... 43
9. Modul 6: Akzeptanz der Gasbusse ... 45

9. Modul 6: Akzeptanz der Gasbusse 45
9.1 Innerbetriebliche Akzeptanz 45
9.2 Akzeptanz bei Fahrgästen 47
10. Schlussfolgerungen 53
11. Referenzen 55
Anhang 57
A1 Häufigkeit der Störfälle während der Einführung der neuen Gasbusse bei BERNMOBIL 57
A2 Energiebilanz der ARA Bern 59
A3 Meinungs-Umfrage zu den Gasbussen von BERNMOBIL 60
A4 Antworten Meinungs-Umfrage zu den Gasbussen von BERNMOBIL 62
A5 Exemplarische Beispiele Bemerkungen Meinungs-Umfrage 65

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Ersatzanschaffung haben die öffentliche Verkehrsbetriebe der Stadt Bern (BERNMOBIL) zwischen Juni 2006 und Juni 2007 ausgediente Dieselbusse durch neue Gasbusse ersetzt. Aus ökologischen Gründen sollten mindestens 30 Gasbusse mit Biogas aus der Kläranlage Bern betrieben werden. Der vorliegende Bericht beschreibt die Erfahrungen, die während der Umstellung von herkömmlichem Dieseltreibstoff auf Gastreibstoff gemacht wurden. Zu diesem Zweck wurden 6 Aspekte des Betriebs der Gasbusse untersucht und mit herkömmlichen Dieselbussen verglichen:

1) Erfahrungen mit der Gas-Technologie: Die Anpassungen der Infrastruktur wurden erfasst und technische Probleme, die zum Ausfall von Gasbussen führten, wurden analysiert.

2) Treibstoff und Energieverbrauch: Der Treibstoffverbrauch von Gas- und Dieselbussen wurde, unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs für die Produktion der Treibstoffe, verglichen.

3) Emissionen und Lufthygiene: Die Emissionen von Gas- und Dieselbussen wurden auf Testfahrten in der Stadt und auf einem Rollenprüfstand gemessen und mit anderen Bustypen verglichen. Zudem wurde anhand einer Life-Cycle Analyse die Umweltbelastung durch den Gasbus-Betrieb mit dem Dieselbus-Betrieb verglichen.

4) Betriebliche Umstellungen: Die betrieblichen Umstellungen und der damit verbundene Mehraufwand wurden während der gesamten Einführung der Busse aufgezeichnet und analysiert.

5) Finanzielle Aspekte: Es werden die in diesem Zusammenhang involvierten Partner aufgeführt und die getroffenen Vereinbarungen und Finanzflüsse dargestellt.

6) Akzeptanz der Gasbusse: Die innerbetriebliche und die öffentliche Akzeptanz der Gasbusse wurden anhand von Umfragen in der Bevölkerung und bei Mitarbeitern von BERNMOBIL analysiert.

Die Einführung der Gas-Technologie bei BERNMOBIL bedingte eine Anpassung der Infrastruktur innerhalb des Busdepots von BERNMOBIL. Insbesondere wurde eine Gasbetankungsanlage im Busdepot gebaut, um die Busse an ihren Abstellplätzen über Nacht betanken zu können. Sechs Monate nach der Inbetriebnahme kam es bei Unterhaltsarbeiten an der Tankanlage zu einer fatalen Entzündung von Gas, dadurch wurde die Kompressoranlage zerstört. Die gesamte Anlage musste während fast einem Jahr stillgelegt und vollständig saniert werden. Aufgrund dieses Zwischenfalls mussten u.a. aus Sicherheitsgründen zusätzliche Belüftungsfenster in das Busdepot eingebaut werden. Der Ausfall der Tankanlage führte zu einem beachtlichen Mehraufwand, da alle Busse während der Sanierung an Ausweichtankstellen betankt werden mussten. Technische Störfälle bei den Gasbussen waren mehrheitlich nicht auf die Gas-Technologie zurückzuführen. Vielmehr waren Störungen der automatischen Türen die häufigsten Ursache für Betriebsausfälle der Busse. Nur etwa 15% aller registrierten Störfälle waren direkt auf die Gas-Antriebstechnologie zurückzuführen.

Der Treibstoffverbrauch der Gasbusse lag im ersten Jahr der Einführung rund 20% über dem erwarteten Verbrauch. Zudem wurden die Busse anfangs nicht optimal aufgetankt, weshalb die Tanks der Busse nicht immer vollständig gefüllt wurden. Dies führte anfangs zu betrieblichen Schwierigkeiten, da der Gasvorrat der Busse nicht immer für einen gesamten Tageseinsatz reichte und die Busse zusätzlich betankt werden mussten. Durch Feineinstellungen des Motors der Gasbusse konnte der Verbrauch nachträglich um rund 8% verringert werden. Dennoch liegt der Energieverbrauch der Gasbusse mit 68 kg pro 100km etwa 35% über dem Energieverbrauch der Dieselbusse. Durch den niedrigeren Treibstoffverbrauch und angepasstes Betanken können heute alle Gasbusse einen Tageseinsatz ohne zusätzliches Tanken erfüllen.

Zur Ermittlung der Emissionen wurden einerseits auf dem städtischen Verkehrsnetz in Bern Onboard-Messungen eines Gas- wie auch eines Diesel-Gelenkbusses (zu Vergleichszwecken) durchgeführt. Zudem wurde ein Gas-Solobus auf dem Rollenprüfstand der TU Graz ausgemessen. Onboard-Messungen wie auch die Rollenprüfstandsmessungen zeigen, dass die neuen Gasbusse weniger Stickoxide und weniger Russ ausstossen als die Dieselbusse. Die Emissionen der Gasbusse liegen in allen gemessenen Fahrzyklen unter der neuen EU-Abgasnorm EEV. Wird der gesamte Life-Cycle (inklusive Luftemissionen während der Produktion des Treibstoffes) betrachtet, so wird der ökologische Vorteil der Gasbusse noch deutlicher. Da BERNMOBIL die Gas-Gelenkbusse mit Biogas aus der

örtlichen Kläranlage betreibt, sind die CO2-Emissionen der Gelenkbusse aus einer Life-Cycle-Sicht gleich Null zu setzen. Durch den Busbetrieb mit Biogas reduziert sich der jährliche CO2-Ausstoss von BERNMOBIL um rund 2300 Tonnen CO2. Werden sämtliche Luftemissionen der Gas- und Dieselbusse mit Hilfe der ‚Methode der ökologischen Knappheit' in Umweltbelastungspunkte umgerechnet, so ist der Busbetrieb mit Biogas klar ökologischer als der Betrieb mit Erdgas oder Diesel und ist etwa vergleichbar mit Trolleybussen.

Die grössten betrieblichen Umstellungen durch die Einführung der Gasbusse sind auf die Probleme mit der Gastankstelle zurückzuführen. Falls die Gastankstelle im Busdepot jedoch wie vorgesehen – und wie inzwischen auch umgesetzt – betrieben werden kann, besteht kaum ein Mehraufwand durch den Betrieb der Gasbusse.

Die finanziellen Rahmenbedingungen sind nicht unerheblich für einen Entscheid wie die Einführung einer alternativen Traktionsart. Grundsätzlich ging BERNMOBIL von der Maxime aus, die Einführung von Gasbussen habe für BERNMOBIL kostenneutral – im Vergleich zu einer Ersatzbeschaffung von konventionellen Dieselbussen – auszufallen. Durch den Einbezug mehrerer Akteure konnten die Mehraufwendungen auf verschiedene Partner aufgeteilt werden. So finanzierten der GVM Mittelland und ewb die Mehrkosten der Fahrzeuge, ewb übernahm die Erstellung und Betrieb der Gasbetankungsanlage, wobei hier der Ökofonds der Stadt Bern einen namhaften Beitrag leistete. Kostenneutral für BERNMOBIL sind auch die Energiekosten, wobei positiv ins Gewicht fällt, dass Biogas seit dem 1. Juli 2008 von der Mineralölsteuer befreit ist. Mengenmässig hat sich ewb zur Lieferung von jährlich 1 Mio. kg Biogas verpflichtet. Aus diesem Anlass hat sich ewb an der Finanzierung der neuen Biogas-Anlage bei der ARA Bern beteiligt.

Umfragen bei der Bevölkerung und bei den Mitarbeitern von BERNMOBIL zeigen, dass die Gasbusse eine grosse Akzeptanz geniessen. Insbesondere wird der ökologische Vorteil der Gasbusse von den Befragten geschätzt.

Anhand dieser Untersuchungen konnten die wichtigsten Vor- und Nachteile von Gasbussen gegenüber Dieselbussen identifiziert werden. In Anbetracht sämtlicher untersuchter Aspekte überwiegen die positiven Auswirkungen und die Einführung der Gasbusse kann – trotz der Schwierigkeiten, die in erster Linie auf die Probleme mit der Gastankstelle zurückzuführen waren – als Erfolg gewertet werden.

1. Ausgangslage und Ziele

Die öffentlichen Verkehrsbetriebe der Stadt Bern (BERNMOBIL) transportieren jährlich 84 Millionen Fahrgäste auf einem 100 km^2 grossen Einzugsgebiet. Zirka ein Drittel der Fahrgäste werden mit Autobussen auf einem 64 km langen Liniennetz befördert. In Anbetracht der Luftverschmutzung an verkehrsreichen Strassen ist es ein Anliegen von BERNMOBIL, die Busflotte stetig zu erneuern und umweltschonendes Rollmaterial einzusetzen. So wurden 1997 und 2002 jeweils Dieselbusse angeschafft, welche den jeweils neusten europäischen Abgasnormen (EURO 2 und EURO 3) entsprachen. Im Rahmen einer Ersatzanschaffung wurde im August 2005 die Entscheidung gefällt, alte Dieselbusse mit umweltfreundlichen Gasbussen zu ersetzen. Der Austausch sollte in 2 Phasen durchgeführt werden. In der ersten Phase, welche Mitte 2007 erfolgreich abgeschlossen wurde, wurden insgesamt 32 Diesel-Gelenkbusse und 12 Diesel-Solobusse der Technologie EURO 0 und EURO 1 durch 32 Gas-Gelenkbusse und 13 Gas-Solobusse ersetzt. Als Treibstoff steht grundsätzlich CNG zur Verfügung (CNG steht für *compressed natural gas*), wobei mindestens 30 Gelenkgasbusse von BERNMOBIL mit Biogas betrieben werden sollen. In der zweiten Phase plant BERNMOBIL, ab 2010 praktisch alle Dieselbusse mit älteren Technologiestufen (vor EURO 3) durch Gasbusse zu ersetzen. In Anbetracht dieser Zukunftspläne wird in der vorliegenden Studie eine Zwischenbilanz bezüglich der Störfälle, des Energieverbrauchs, der Umweltfreundlichkeit und der Akzeptanz der bisher eingeführten Gasbusse erstellt.

Die vorliegende Studie beschreibt die Phase 1 der Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL und zeigt im Sinne einer Erfolgskontrolle auf, wie weit der Zielbeitrag zu einer ökologischen Mobilität erreicht wurde. Dazu gehören neben den technischen, betrieblichen und finanziellen Aspekten auch die Auswirkungen auf die Umwelt (Luftqualität und Treibhausgase) und die Akzeptanz der neuen Technologie bei der Öffentlichkeit. Die Erfahrungen sollen anderen interessierten Städten und Busbetrieben zur Verfügung stehen und als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Projekte dienen.

2. Vorgehen

Um ein umfassendes Bild der Einführung von Gasbussen in einem öffentlichen Verkehrsbetrieb zu erstellen, wurden 6 Aspekte im Einzelnen betrachtet. Jeder Aspekt wurde innerhalb eines Arbeitmoduls erfasst und analysiert:

- Modul 1: Erfahrungen mit der Gas-Technologie

Modul 1 umfasst die Erfahrungen mit den Gasfahrzeugen sowie mit der neuen Betankungsanlage. Dazu wurden die wichtigsten Ereignisse während der Einführung der Gasbusse zusammengefasst und chronologisch aufgezeichnet. Anhand der technischen Logbücher von BERNMOBIL wurden die Störfälle sämtlicher Gasbusse analysiert. Die Störfälle wurden nach Ursachen und Häufigkeit geordnet und die mittlere Distanz zwischen zwei Störungen wurde mit anderen Bustypen verglichen. Anhand eines Erfahrungsberichtes von BERNMOBIL (Maurer, 2007) wurden zudem die betrieblichen (Störungen) und administrativen (Erteilung der Bewilligung) Unterbrüche des Betriebs der Gastankstelle aufgezeichnet.

- Modul 2: Energieverbrauch

Im Modul 2 wurden die Treibstoffverbräuche der Gas- und Dieselbusse anhand der Aufzeichnungen in den Logbüchern von BERNMOBIL verglichen. Anhand der Treibstoffverbräuche wurde die Energieeffizienz der beiden Antriebstechnologien verglichen.

- Modul 3: Emissionen und Lufthygiene

Im Modul 3 wurden die Emissionen der neuen Gasbusse und der herkömmlichen Dieselbusse von BERNMOBIL verglichen. Dazu wurden zwei Messkampagnen mit je einem Gas- und einem Dieselbus durchgeführt: 1) On-board Messungen während der Fahrt auf dem Berner Stadtnetz und 2) Labormessungen auf einem Rollenprüfstand der Technischen Universität Graz (TU Graz). Anhand dieser Messungen wurden die lufthygienischen Kennwerte der beiden Antriebstechnologien analysiert und verglichen. Anhand der On-board Messungen wurden die effektiven Emissionen währen des Betriebs auf dem Berner Stadtnetz aufgezeigt und anhand der Rollenprüfstandmessungen die Emissionen mit anderen Bustypen verglichen. Zudem wurden anhand von Langzeit-Messungen des Stadtlabors Bern die Immissionen an ausgewählten Standorten in der Stadt Bern analysiert. Zusätzlich wurde der gesamte *Life-Cycle* des Biogases, von der Anlieferung von zusätzlichen organischen Stoffen an die ARA Bern bis zum Bezug des Biogases an der Tankstelle, erfasst und analysiert. Die Umweltbelastung von mit Biogas betriebenen Gasbussen wurde schliesslich zur Illustration verglichen mit Bussen, die mit CNG betrieben werden sowie mit konventionellen Dieselbussen und Trolleybussen.

- Modul 4: Betriebliche Umstellungen

Im Modul 4 wurden betriebliche und organisatorische Strukturanpassungen erfasst, wie z.B. Ausbildung und Mehraufwand durch die neue Betankungsanlage.

- Modul 5: Finanzielle Aspekte

In diesem Abschnitt wird erläutert, welche Partner im Projekt involviert waren / sind und welche Implikationen das Projekt auf der finanziellen Ebene hatte.

- Modul 6: Akzeptanz der Gasbusse

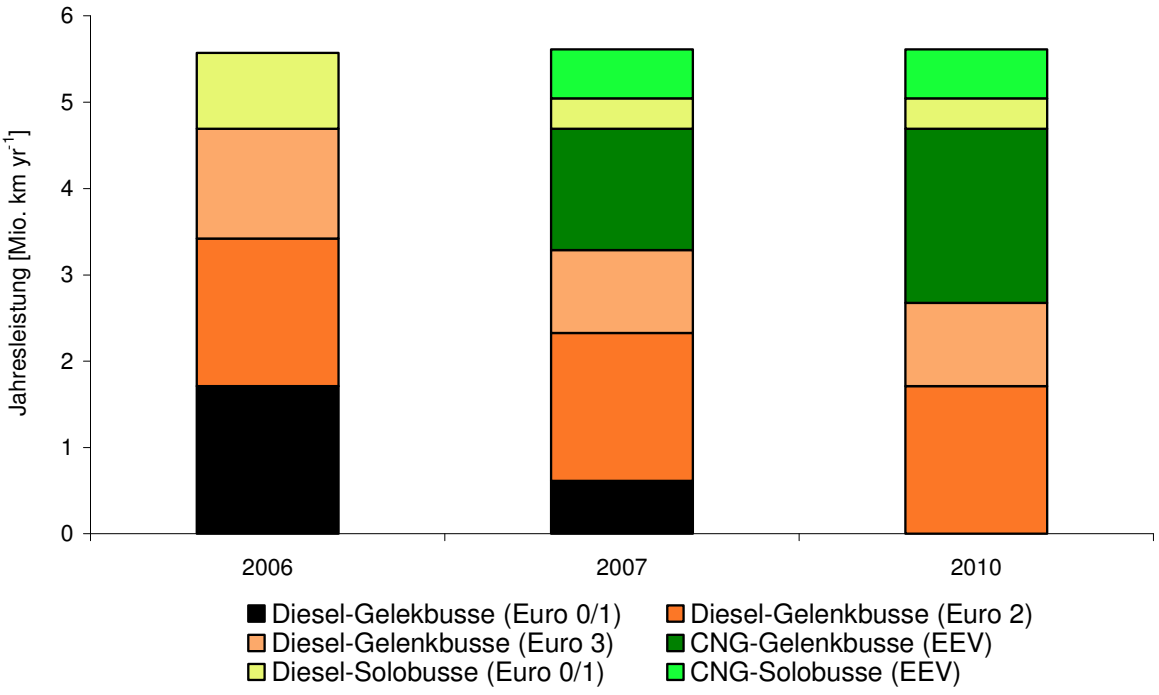
In Modul 6 wurde anhand von Umfragen und Interviews die Akzeptanz der neuen Busse bei Fahrgästen und Personal von BERNMOBIL untersucht. Bei den Fahrgästen wurde insbesondere nachgeprüft, wieweit Gasbusse eine Rolle bei der Kundenzufriedenheit spielen.

Die Resultate der 6 Module wurden anschliessend in einem eigenen Folgerungskapitel zusammengefasst.

3. Die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL

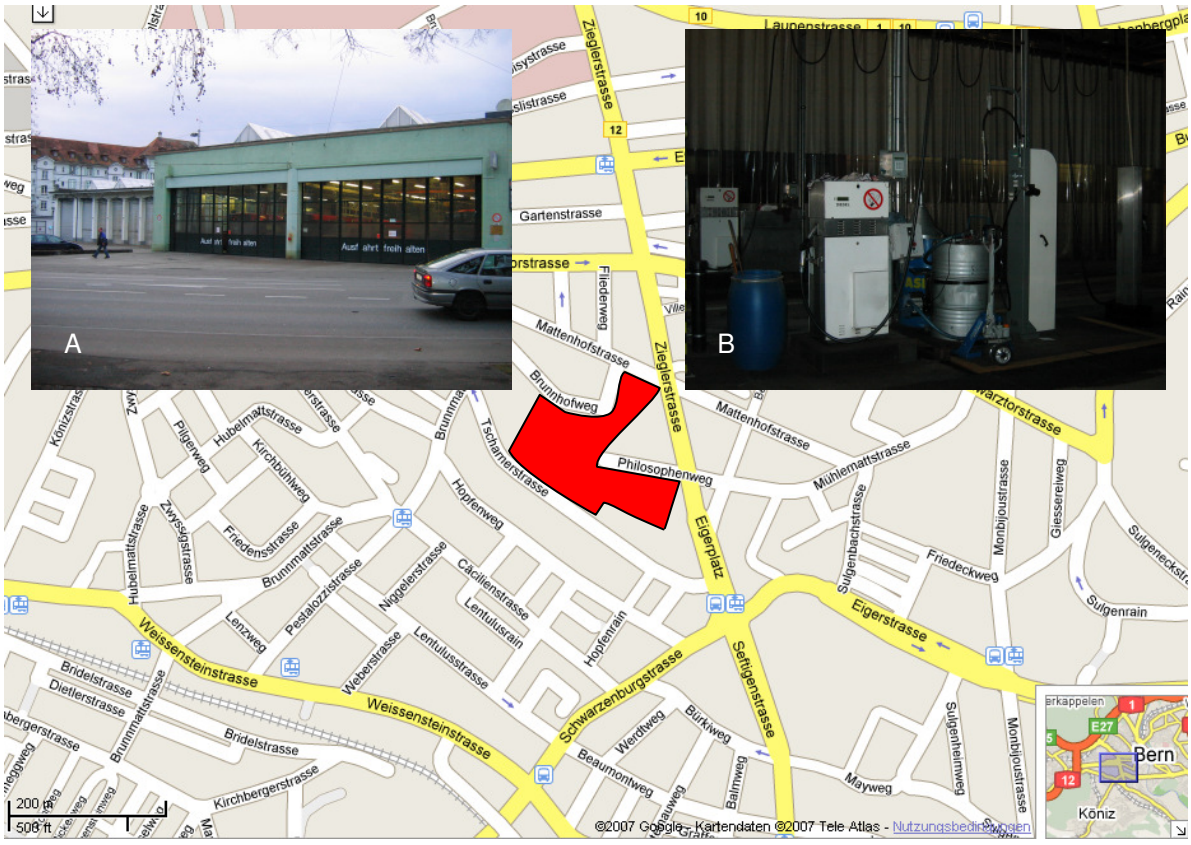
3.1 ÜBERSICHT

Die gesamte Autobusflotte (ohne Trolleybusse und Midibusse) von BERNMOBIL legt im Jahr rund 5.6 Millionen km zurück. Seit der abgeschlossenen Phase 1 (Mitte 2007) fällt fast ein Drittel dieser Jahresleistung auf die 32 Gas-Gelenkbusse und 13 Gas-Solobusse (Figur 1). Der Gasverbrauch für diese Leistung beläuft sich jährlich auf über 1200 t Gas. Das Gas bezieht BERNMOBIL über eine Gastankstelle von *Energie, Wasser Bern* (ewb). Als Erdgasverkäufer betreibt ewb ein Gasnetzwerk und diverse Gastankstellen in der Region Bern. Während die Gas-Solobusse mit konventionellem Erdgas betrieben werden, sollen ab 2008 mindestens 30 Gas-Gelenkbusse mit Biogas aus der *Abwasserreinigungsanlage der Region Bern* (ARA Bern) betrieben werden. Die ARA Bern produziert nahezu CO_2-neutrales Biogas aus organischen Substraten in Klärschlamm und Nahrungsabfall und speist dieses in das Erdgasnetzwerk von ewb ein. Das Biogas mischt sich im Gasnetz zwar mit Erdgas, vertraglich sind jedoch rund 1000 t Biogas für BERNMOBIL reserviert. Die Gas-Gelenkbusse können dadurch an allen Erdgastankstellen von ewb mit zertifiziertem Biogas betankt werden. Damit die Gas-Gelenkbusse mit Biogas aus der ARA betrieben werden können, musste die ARA Bern die bisherige jährliche Produktion von Biogas um rund ein Drittel auf 13 Mio. kWh erhöhen.



Figur 1: Übersicht der Flottenzusammensetzung bei BERNMOBIL vor der Einführung von Gasbussen, heute und in Zukunft. Konkrete Zukunftsszenarien für die Solobusse sind vorgesehen aber noch nicht ausgearbeitet.

Um einen reibungslosen Busbetrieb garantieren zu können, ist BERNMOBIL auf eine Betankungsanlage in der Nähe des Busdepots angewiesen. Das Busdepot, in welchem sämtliche Busse über Nacht eingestellt werden, liegt in einem zentralen Wohngebiet der Stadt Bern (Figur 2). Bei der Einführung der Gasbusse musste das Busdepot mit entsprechenden CNG-Betankungsplätzen nachgerüstet werden, damit die neuen Gasbusse direkt an ihren Abstellplätzen über Nacht betankt werden können. Der Betrieb einer CNG-Betankungsanlage in einem Wohngebiet bedingt jedoch umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen.



Figur 2: Übersichtskarte des Busdepots und der Betankungsanlage. Rote Fläche illustriert das Tram- und Busdepot von BERNMOBIL. Bild „A“ zeigt die Einfahrt der Garage und Bild „B“ zeigt die Tankstelle (Schnellbetankungsplatz) im Innern des Depots.

3.2 TECHNISCHE KENNGRÖSSEN DER FAHRZEUGE

Die technischen Daten zu den neuen Gasbussen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Daten der neuen CNG-Fahrzeugen

	Volvo 7700A CNG Gelenkbus	Volvo 7700A CNG Solobus
Fahrgastkapazität	150	100
Emissionsklasse	EURO 4, EEV(1)	EURO 4, EEV(1)
Baujahr	2006	2007
Antriebsart	6 Zylinder Ottomotor mit 3 Wegekatalysator, Turboaufladung	6 Zylinder Ottomotor mit 3-Wegekatalysator, Turboaufladung
Fahrzeuggewicht	17910 kg	12540 kg
Hubraum	9365 cm^3	9365 cm^3
Leistung	221 kW / 1900 U min^{-1}	221 kW / 1900 U min^{-1}

(1) EEV und EURO 4 sind Europäische Abgasstandards (EU, 2005). EEV steht für *‚Enhanced environmentally friendly vehicle”*

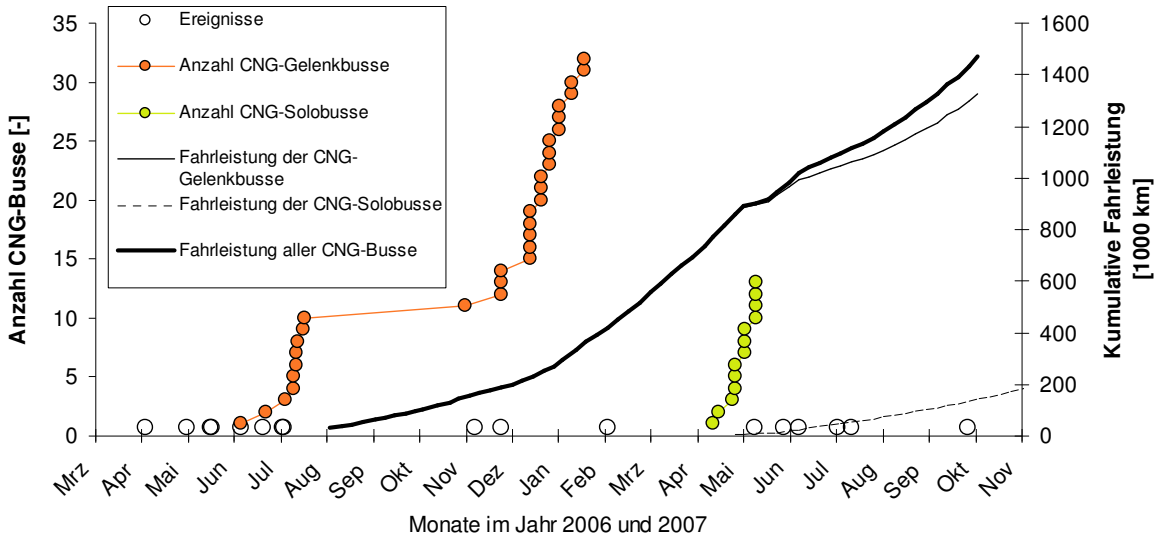
3.3 CHRONOLOGIE DER EINFÜHRUNG

Die 32 Gelenk- und 13 Solo-Gasbusse wurden im Zeitraum zwischen April 2006 und Oktober 2007 eingeführt. Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Ereignisse während dieser Einführung in chronologischer Reihenfolge erläutert.

Da zwischen August und Dezember 2007 der Tramverkehr in der Innenstadt durch eine Grossbaustelle verhindert war, musste der einwandfreie Betrieb von mindestens 10 Gas-Gelenkbussen vor August 2007 garantiert sein, um den Verkehrsbetrieb zu gewährleisten. Trotz des grossen Zeitdrucks verlief – zumindest fahrzeugseitig – die Einführung der neuen Technologie grösstenteils plangemäss und bis Juni 2007 konnten sämtliche bestellten Gasbusse in Betrieb genommen werden. Seit der Ersteinführung wurden innerhalb von 16 Monaten schon über 1,3 Millionen Kilometer mit den 32 Gas-Gelenkbussen zurückgelegt. Der chronologische Ablauf mit den wichtigsten Ereignissen ist in Figur 3 und Tabelle 2 zusammengefasst.

Mitte Juni 2006 wurde der erste Gasbus (mit einer Verspätung von rund 1.5 Monaten) geliefert. Gleichzeitig konnte eine provisorische Gas-Tankstelle in Betrieb genommen werden. Trotz dieser Verspätung waren sämtliche 45 Gasbusse vor dem Unterbruch des Trambetriebs (1.8.2007) einsatzbereit. Der Verkehrsbetrieb der Stadt Bern war somit während keinem Zeitpunkt gefährdet.

Die Einführung der Gasbusse verlief gleichwohl nicht ohne Schwierigkeiten. So führten namentlich Unklarheiten bei dem Bewilligungsverfahren für die neue Betankungsanlage zu erheblichen Verspätungen bei der Inbetriebnahme der Betankungsanlage. Erst eine Dringlichkeitssitzung am 18. Juli 2006 aller beteiligten Instanzen konnte die Zuständigkeit für die Bewilligung klären (siehe Kapitel 4.2). In der Folge konnten die ersten definitiven Betankungsplätze erst am 5. Dezember 2006 in Betrieb genommen werden (7 Monate nach dem geplanten ersten Liefertermin). Im Juni 2007 musste wegen Unterhaltsarbeiten auf provisorische CNG-Tankstellen ausgewichen werden. Während diesen Unterhaltsarbeiten kam es am 6. Juli 2007 im Kompressorraum zu einem gravierenden Zwischenfall. Gas sammelte sich in einem Ölsammelbecken an, entzündete sich und zerstörte die Kompressoranlage. Sämtliche Gasbusse mussten deshalb während fast einem Jahr an Ausweichstankstellen betankt werden. Die gesamte Anlage musste folglich revidiert und teilweise erneuert werden. Ab Anfang Juni 2008 können alle Busse wie vorgesehen wieder im Busdepot Eigerplatz betankt werden. Die umgebaute Betankungsanlage wurde mittlerweile von den zuständigen Behörden abgenommen.



Figur 3: Übersicht der Einführung von Gasbusse bei BERNMOBIL. Volle Kreise stellen die Anzahl in Betrieb stehender CNG-Gelenk- und Solobusse dar (linke Skala). Leere Kreise auf der Abszisse illustrieren wichtige Ereignisse (in Tabelle 2 sind die Ereignisse beschrieben) und die Linien veranschaulichen die kumulative Fahrleistung der Gas-Gelenk- und Solobusse (rechte Skala). Datenquelle: BERNMOBIL.

Tabelle 2: Überblick der wichtigsten Ereignisse

Datum	Betrifft	Beschreibung
02.05.2006	Busse	Liefertermin des ersten CNG-Bus
29.05.2006	Tankstelle	Bewilligung für provisorische Tankstelle fehlt
14.06.2006	Tankstelle	Inbetriebnahme der provisorischen Tankstelle
15.06.2006	Busse	Übergabe des ersten CNG-Bus
04.07.2006	Busse	Inbetriebnahme des ersten CNG-Bus
18.07.2006	Tankstelle	Sitzung zur Klärung der Anlagenbewilligung für Tankstelle
31.07.2006	Betrieb	Ausbildung der Fahrer läuft
01.08.2006	Betrieb	Termin für Inbetriebnahme der Schnellbetankung (nicht eingehalten)
05.12.2006	Betrieb	Inbetriebnahme von 8 definitiven Betankungsplätzen
22.12.2006	Betrieb	Inbetriebnahme von 22 definitiven Betankungsplätzen
02.03.2007	Busse	Zylinderkopfwechsel bei allen Bussen
07.06.2007	Betrieb	Tankstelle im Busdepot ausser Betrieb
08.06.2007	Busse	Inbetriebnahme des letzten CNG-Bus
26.06.2007	Busse	Busse werden EEV-zertifiziert
06.07.2007	Tankstelle	Sammelbehälter geborsten - Betankungsplätze ausser Betrieb
10.08.2007	Betrieb	Tankstelle im Sandrain-Quartier in Betrieb genommen
01.08.2007	Betrieb	Start der Baustelle am Bahnhof - 10 Gasbusse müssen einsatzbereit sein
ab Herbst 07	Tankstelle	Sanierung / Neubau Gasbetanktungsanlage
01.06.2008	Tankstelle	Wiederaufnahme des Betriebs der definitiven Betankungsplätze

4. Modul 1: Erfahrungen mit der CNG-Technologie

Modul 1 umfasst die Erfahrungen während der Einführung der Gasbusse von der ersten Lieferung im Juli 2006 bis Ende 2007. Einschlägige Erfahrungen während der Einführung, wie zum Beispiel Art und Umfang der betrieblichen Umstellungen, erforderliche Bewilligungen, häufige Störfälle, Anpassungsnotwendigkeiten und Ausfallsraten werden in diesem Kapitel dokumentiert. Die vorgestellten Resultate beruhen grösstenteils auf der routinemässig erhobenen Statistik und einem Erfahrungsbericht von BERNMOBIL (Maurer, 2007).

4.1 BAULICHE UND BETRIEBLICHE MASSNAHMEN IM BUSDEPOT

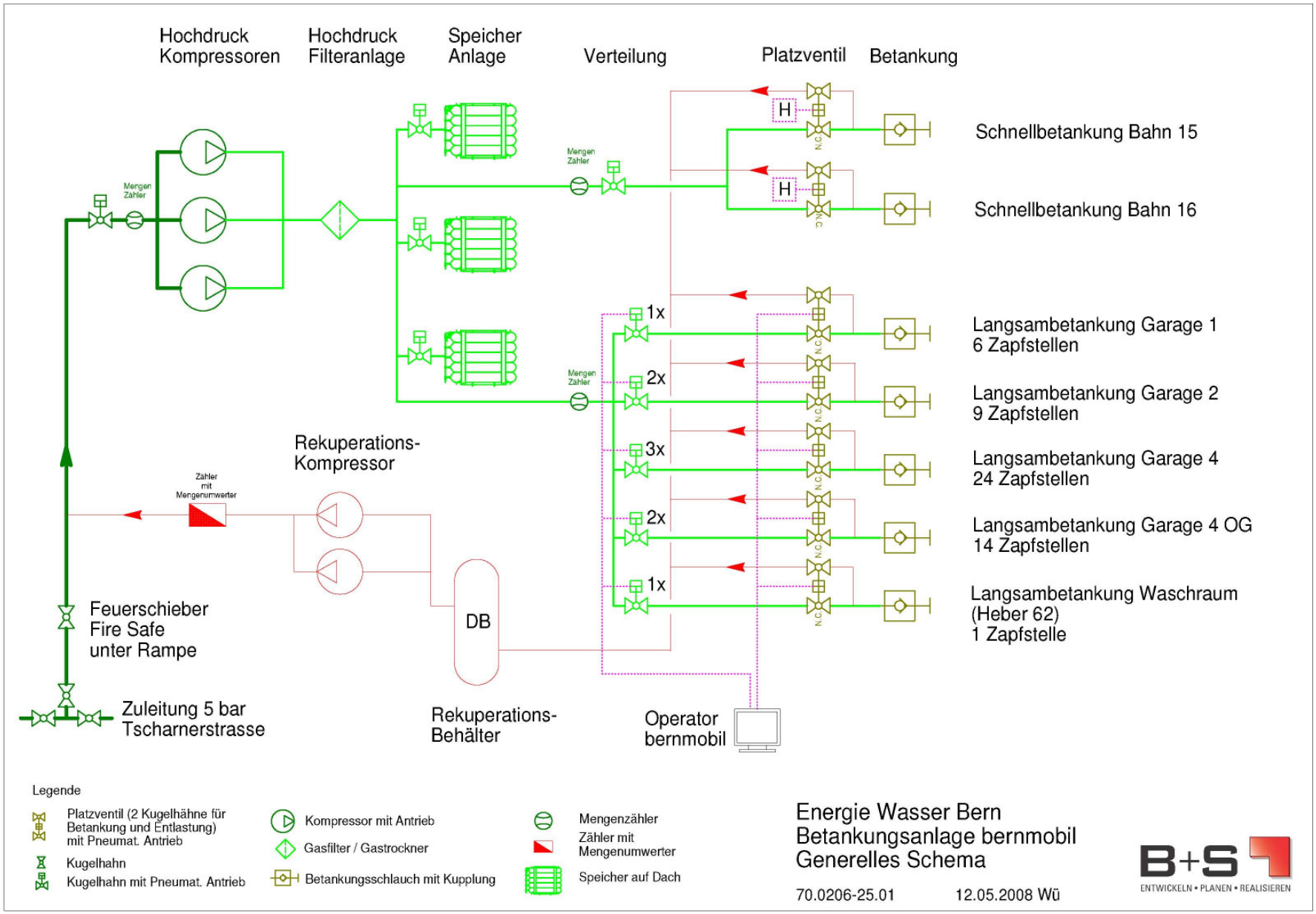
Um ein effizientes Betanken der Gasbusse zu gewährleisten, musste eine CNG-Betankungsanlage im Busdepot von BERNMOBIL gebaut werden. Im Folgenden werden sämtliche Massnahmen im Bereich der Infrastruktur, des Busbetriebs und der Sicherheit im Busdepot von BERNMOBIL aufgezeigt (Tabelle 3).

4.1.1 Infrastruktur

Um sämtliche Gasbusse über Nacht betanken zu können, hat das ewb im Busdepot von BERNMOBIL Gasrohre verlegt und 53 Betankungsplätze installiert (vgl. die schematische Darstellung der Gas-Tankanlage in Figur 4). Die Gasbusse können so an ihren vorgesehenen Abstellplätzen mittels einer Gaszufuhrleitung über Nacht betankt werden. Mit einer Kompressoranlage, die aus 3 Hochdruckkompressoren besteht, wird das Gas aus dem ewb Netz von 5 bar auf 250 bar komprimiert.

Aus sicherheitstechnischen Gründen musste für die Kompressoranlage ein explosionssicherer Raum gebaut werden. Während ewb schon lange über ein dichtes Gasnetzwerk verfügt, mussten sämtliche Leitungen innerhalb des Depots neu gelegt werden. Des Weiteren wurden zwei Schnellbetankungsplätze gebaut, an denen ein Bus innerhalb von 10 Minuten betankt werden kann. Ein Betanken sämtlicher Busse an den Schnellbetankungsplätzen würde zu einem Rückstau in das umliegende Quartier führen und wäre daher unrealistisch. Auf dem Dach des Busdepots wurde ein Gas-Tanklager für 6 t Gas angelegt, welches den Kompressor entlastet und den Betankungsvorgang beschleunigt. Neben den Betankungsplätzen wurde ein explosionssicherer Entleerungsraum gebaut (in Figur 4 als Waschraum bezeichnet), in welchem bei Störungen das Gas von den Bussen sicher in das Gasnetz zurückgeleitet werden kann. Eine zusätzliche Belüftungsanlage sorgt bei erhöhter Gaskonzentration für einen schnellen Abzug des Gases.

Für den Fall einer Störung der Betankungsanlage sind 3 weitere Schnellbetankungsplätze im etwa 2 km entfernten Sandrain-Quartier eingerichtet („Sandrain II“ bzw. „Sandrain III“). Innerhalb einer Stunde können an dieser Tankstelle etwa 8-10 Busse betankt werden. Ein Betanken sämtlicher Gasbusse würde etwa 6 Stunden beanspruchen. Der Busbetrieb wäre so grundsätzlich auch im Störfall gewährleistet.



Figur 4: Schematische Darstellung der Gasbetankungsanlage von BERNMOBIL

4.1.2 Betriebliche Massnahmen

Die Gasbusse werden effizient an ihren Abstellplätzen betankt. Während der Betankung der Gasbusse werden aus Sicherheitsgründen (Funkenbildung) sämtliche Stromleitungen für Trolleybusse abgestellt werden. Aus den gleichen Gründen wurden die Gas- und Trolleybusse auf unterschiedliche Abteile des Depots aufgeteilt und mit Abschottungsplatten getrennt.

4.1.3 Sicherheit

Der Standort mitten in einem dicht besiedelten Wohnquartier bedingt zusätzliche Sicherheits- und Lärmschutzmassnahmen. Um eine Ansammlung des Gases frühzeitig bemerken zu können wurden bei der Betankungsanlage und in der Werkstatt Gassensoren angebracht. Sobald erhöhte Gaswerte registriert werden, wird die Betankungsanlage automatisch abgestellt und eine zusätzliche Belüftungsanlage wird eingeschaltet. Sämtliche Gasleitungen können anschliessend in ein für diesen Zweck gebautes Auffangbecken entleert werden. Druckluftschläuche für die Wartung der Busse müssen APEX-geprüft werden, um garantieren zu können, dass keine Funken durch statische Entladungen entstehen können. Ebenfalls wurde die Beleuchtung des Depots auf IP68-Standard aufgerüstet, damit sicherlich kein Gas ins Innere der Lampen eindringen und sich entzünden kann.

Da die meisten baulichen Änderungen den Bau der Betankungsanlage betrafen, welche von ewb gebaut worden ist, hielten sich die Investitionen in die neue Infrastruktur für BERNMOBIL in Grenzen. BERNMOBIL stellte im Wesentlichen den zusätzlichen Platz innerhalb des Busdepots für die baulichen Massnahmen zur Verfügung. Weitere Details bezüglich der behördlichen Bewilligung für die Tankstelle sind in Kapitel 4.2 dargelegt.

Tabelle 3: Massnahmen im Zusammenhang mit der CNG Tankstelle bei BERNMOBIL

Infrastruktur
Explosionssicherer Kompressorraum
Kompressor und Gasreinigungsanlage[(1)]
Verlegung der Gaszuführungsrohre
CNG-Tanklager auf dem Dach (6t in 240 Stahl-Flaschen)
53 CNG-Betankungsplätze
2 CNG-Schnellbetankungsplätze
2 Ausweich-Schnellbetankungsplätze im Fall von Störungen (Sandrain-Quartier)
Platzreserve für 9 weitere CNG-Betankungsplätze
Betriebliche Massnahmen
Stromleitungen für Trolleybusse müssen während der Betankung abgestellt werden
Kühlsystem für die Kompressoren
Temperatursensoren auf dem Dach
Explosionssicherer Entleerungsraum
Zusätzliche Lüftungsanlage während der Betankung
Sicherheitsmassnahen
Gassensoren an der Decke (zirka alle 5 m) und neben der Tankstelle
Auffangtanks um Leitungen bei Störungen entleeren zu können
Deckenbeleuchtung wurde auf IP68-Standard aufgerüstet [(2)]
Druckluftschläuche müssen APEX geprüft werden [(3)]
Platten zur Abschottung der Gasbusse von anderen Bussen [(4)]
Automatische Sicherheitskontrolle

(1) Kompressor komprimiert Gas von 5 bar auf über 200 bar.

(2) ‚IP68' ist ein internationaler Standard, der 100%ige Staub- und Wasserdichte garantiert.

(3) Druckluftschläuche müssen antistatisch sein, um ein entzünden von Gas durch evt. Funken zu verhindern.

(4) Vertikale Trennplatten an der Decke (zirka 4m hoch), die ein verbreiten des Gases in der ganzen Garage verhindern.

4.2 BAU UND BETRIEB DER GAS-TANKANLAGE

Der zentrale Standort des Busdepots in einem dicht besiedelten Wohnquartier erfordert für die Betankungsanlage zusätzliche Sicherheitsmassnahmen. Diese mussten im Dialog mit den zuständigen Instanzen für die Bewilligung vorerst definiert werden, was zu einer Verzögerung der Inbetriebnahme führte. So wurde zum Beispiel erst nach einer Dringlichkeitssitzung mit allen involvierten Instanzen klar, dass das Tanklager auf dem Dach des Busdepots der Störfallverordnung unterstellt werden muss. Dies war ursprünglich nicht vorhergesehen, da das Tanklager weniger als 20 Tonnen Gas enthält und somit unter der gesetzlichen Limite der Störfallverordnungen lag.

Nachfolgende Instanzen waren an der Erteilung der Bewilligung beteiligt:

- **Bauinspektorat:** Das Bauinspektorat der Stadt Bern verfügt über die Kompetenz, eine rechtsgültige Baubewilligung zu erteilen. Bei komplexen Bauprojekten stützt sich das Bauinspektorat in der Regel auf externe Stellen. Im Fall der CNG-Tankstelle stützt sich das Bauinspektorat auf die SUVA.

- **SUVA:** Als grösste Unfall- und Schadenversicherung der Schweiz hat die SUVA eine beratende Rolle, in der sie die Entscheidungen des Bauinspektorats mitbestimmen kann. Die SUVA ist vertraglich an die SVGW gebunden, welche über das nötige fachliche Grundwissen verfügt.
- **SVGW:** Der Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches unterstützt Versorgungsbetriebe mit fachlichem Grundwissen. Als Berater der SUVA hat der SVGW die Kompetenz, die baulichen Schutzmassnahmen zu definieren.
- **ewb:** Als Betreiber und Besitzer der Tankanlage muss Energie Wasser Bern zu Handen der SUVA einen Sicherheitsnachweis (ewb, 2006) erstellen, welcher sämtliche Auflagen der SVGW erfüllt.
- **Suisseplan Ingenieure AG:** Als externe Beratungsfirma erstellte die Firma Suisseplan zusammen mit der Beco eine erste Expertise über die CNG-Tankanlage. Anhand dieser Expertise wurden die Kompetenzen zur Erteilung der Baubewilligung abgesteckt.
- **Beco:** Das kantonale Amt für Wirtschaft und Arbeit (Beco) verfügt u.a. über Kompetenzen im Bereich Wirtschaftsförderung, Arbeitsbedingungen, Luftreinhaltung und Regionalentwicklung. Beco und die Firma Suisseplan haben die erste Expertise der Tankanlage erstellt.

In der ersten Expertise, welche jedoch nicht rechtskräftig war, kamen Beco und Suisseplan zum Schluss, dass von der Tankanlage mit den vorhandenen Sicherheitsmassnahmen keine Gefahr für die umliegenden Wohngebiete ausgeht. Die SUVA und der SVWG waren sich jedoch einig, dass Aufgrund des dichten Wohngebietes zusätzliche Massnahmen getroffen werden müssen, um die Sicherheit des Personals und der Anwohner zu garantieren. Ausschlaggebend für den Umfang der Massnahmen ist die Festlegung der Explosionsschutzzonen. Die SUVA stellte diesbezüglich deutlich höhere Anforderungen als der SVWG, welche mit einem erheblich grösseren Kostenaufwand verbunden sind.

Mitte August 2006 legte ewb den Sicherheitsbericht vor, in dem sowohl die Auswirkungen eines Helikopterabsturzes auf den Gasspeicher, als auch eines Gebäudebrandes direkt unter dem Gasspeicher analysiert wurden (ewb, 2006). Der Bericht bildet die Grundlage für die Anlagenbewilligung. Im Dezember 2006 (rund 6 Monate nach der Inbetriebnahme des ersten Gasbusses) wurde der Betrieb der Tankanlage im Depot bewilligt.

In der Anfangsphase wurden die Gasbusse bis auf 200 bar betankt, was in der Regel zu einer ungenügenden Gasmenge in den Tanks der Busse führte, damit die Reichweite der Busse beeinträchtigte und ihre vorzeitige Rückkehr ins Depot verlangte. Beim Betanken wärmt sich das Gas bis auf 90°C auf, mit der Folge, dass die gespeicherte Gasmenge bei 200 bar deutlich unter der erwarteten Menge lag. Durch Temperaturkompensation bzw. durch Erhöhung des Drucks auf 250 bar konnte dieses Problem dann behoben werden.

Im Sommer 2007 ereignete sich bei der Betankungsanlage ein schwerer Störfall. Während Reparaturarbeiten kam es am 6. Juli 2007 zur Explosion des Ölsammelbehälters des Kompressors. Drei Techniker mussten zu Abklärungen ins Spital gebracht werden und die Anlage musste anschliessend während 12 Monaten saniert und teilweise neu aufgebaut werden. Während dieser Zeit mussten sämtliche Gasbusse an umliegenden Ausweichstankstellen betankt werden (siehe Kapitel 7.1). Der Betankungsbetrieb im Busdepot war wegen des Zwischenfalls rund 12 Monate unterbrochen. Die wichtigsten Sanierungsmassnahmen waren:

- Die verschiedenen Anlageteile wurden soweit als möglich räumlich getrennt, um die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Komponenten der Gasbetankungsanlage möglichst zu minimieren.
- Die sogenannte Rekuperation wurde verbessert und zur Sicherheit in einen separaten explosionssicheren Raum verlegt; das heisst, der Rückfluss des bei der Betankung nicht benötigten Gases von der einzelnen Zapfstelle wird neu zurück ins 5-bar-Gasnetz geleitet (bisher Rückleitung in das 200-bar-Netz).
- Der Gasspeicher auf dem Dach des Busdepots wurden um 60% verringert. Statt den ursprünglichen 560 Gasflaschen (rund 20 Tonnen Gas) sind heute noch 240 Gasflaschen (6 Tonnen Gas) auf dem Dach montiert.

- Aufgrund der konzeptionellen Veränderungen musste die Steuerung der Anlage grundlegend überprüft und angepasst werden. Insbesondere wurde eine umfangreiche elektronische Überwachung der Betankungsanlage eingeführt.
- Ins Dach wurden vier Öffnungen mit einer Gesamtgrösse von etwas mehr als 9 m2 eingebaut, um eine natürliche Belüftung des Kompressorraums zu ermöglichen. Falls es in der Kompressoranlage zu einem Gasaustritt kommen sollte, verflüchtigt sich das Gas durch die Öffnungen.

Nach Abschluss der Umbau- und Sanierungsmassnahmen und einer ausgedehnten Testserie und der erneuten Abnahme durch mehrere Behörden (namentlich durch die energiecheck bern ag, das eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI), den Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfachs (SVGW), die Gebäudeversicherung und die SUVA) konnte die Gas-Tankstelle am 1. Juni 2008 wieder in Betrieb genommen werden. Seit dem Abschluss der Sanierungsarbeiten an der Betankungsanlage Eigerplatz reicht die Kapazität der Anlage aus, um die aktuelle Gasbus-Flotte von 45 Fahrzeugen (32 Gelenkautobusse und 13 Standardbusse) in der von BERNMOBIL vorgegebenen Zeit zu betanken. Die zusätzliche zweite Betankungsanlage auf dem ehemaligen Gaswerkareal im Sandrain-Quartier wird seither nur noch im Fall von Störungen der Betankungsanlage im Busdepot verwendet. Auch bei Sonderereignissen (wie der Fussball-Europameisterschaft 2008 oder grösseren Baustellen) bietet die Sandrain-Tankstelle die nötige Redundanz um sicherzustellen, dass die Gasbusse jederzeit eingesetzt werden können.

Der Störfall der Gastankstelle war gravierend und hat den Betrieb stark herausgefordert, zumal dies in eine Periode fiel, wo mit der Grossbaustelle Bahnhof ohnehin viel Flexibilität und Pragmatismus gefordert war. Bernmobil meisterte diese Phase erfolgreich, so dass der Betrieb in aller Regel planmässig funktionierte und die Kundschaft von den Schwierigkeiten mit der Gastankstelle kaum etwas merkte. Als „Lehren“ kann man festhalten:

- Eine Gasbetankungsanlage ist – etwa im Vergleich mit einer Dieseltankstelle – eine komplexe Anlage. Diese Komplexität hat man anfänglich unterschätzt, namentlich die Abhängigkeiten, die sich aus dem Einbau in ein bestehendes Depot ergaben (z.B. Abhängigkeiten mit der Haustechnik). Deshalb ergibt sich als Folgerung, eine Betankungsanlage möglichst baulich abzutrennen und als eigenständige Einheit zu konzipieren.
- Der Begriff „Redundanz“ muss sorgfältig definiert werden: Die unterbruchsfreie Verfügbarkeit der Tankanlage stand ursprünglich im Vordergrund und sollte durch ein System mit redundanter Auslegung und grossen Erdgas-Speichereinheiten gewährleistet werden. Der Ansatz hat sich in dieser Form nicht bewährt. Zweckmässiger wäre es, eine zweite Anlage für die Energieversorgung im Störfall an einem völlig unabhängigen zweiten Standort vorzusehen, um den baulich/betrieblichen Abhängigkeiten aus dem Wege zu gehen.
- Mit der Gasbetankungsanlage bei BERNMOBIL betrat man Neuland. Europaweit war – und ist wohl noch immer – diese Anlage die einzige Indoor-Betankung von dieser Grössenordnung. Deshalb mussten viele Bestandteile neu entwickelt und mehrmals angepasst werden. Der ursprüngliche Ansatz ging davon aus, dass einzelne Komponenten (wie Kompressoren, Tankzapfen etc.) von verschiedenen Herstellern relativ einfach zu einer Gastankstelle zusammengebaut werden könnten. Das führte zu Kompatibilitätsproblemen. Entsprechend wichtig ist eine sorgfältige Auswahl der Lieferanten. Diesbezüglich hatte ewb insofern Pech als der Lieferant der Gastankanlage (eine französsche Firma) kurz nach dem Störfall Insolvenz anmelden musste, was die Sanierungsarbeiten zusätzlich erschwerte (z.B. schwierige nachträgliche Beschaffung von Zertifikaten) bzw. mit Folgekosten für ewb verbunden war.
- Ein weiterer Effekt des „Neulands“ bestand darin, dass die Zulassungsprozeduren erst neu entwickelt werden mussten. Das hat Zeit gekostet. Inzwischen sind aber Erfahrungen gemacht und Zulassungsabläufe etabliert, was neuen Interessenten zweifellos zugute kommen wird.
- Inzwischen wurde und wird stärker darauf geachtet, eine Anlage möglichst schlüsselfertig zu beschaffen. Das gilt allerdings nur für kleinere Anlagen. Die Anlage Sandrain beispielsweise wurde in wesentlich kürzerer Bauzeit erstellt.
- Der Bau grösserer Anlagen bleibt nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe. Auch auf der organisatorischen Ebene hat man dies anfänglich unterschätzt. Für die Revisions- und Sanierungsarbeiten der Gasbetankungsanlage hat man deshalb eine grundlegend neue Projektorganisation u.a.

mit einer externen Projektleitung aufgezogen, was von den Beteiligten im Nachhinein als notwendig und zweckmässig beurteilt wird.

- Schliesslich erwies es sich als nachteilig, Gasbusse, Dieselbusse, Trolleybusse und Strassenbahnen im gleichen Depot unterzubringen. Das erforderte zusätzliche Sicherheitsmassnahmen wie etwa die Zwangsabschaltung des Stroms auf den Oberleitungen der Trolleybusse während den Betankungsphasen. Durch eine Trennung der Fahrzeugtypen könnten die entsprechenden Anlagen und Sicherheitsvorkehrungen vereinfacht und besser angepasst werden.

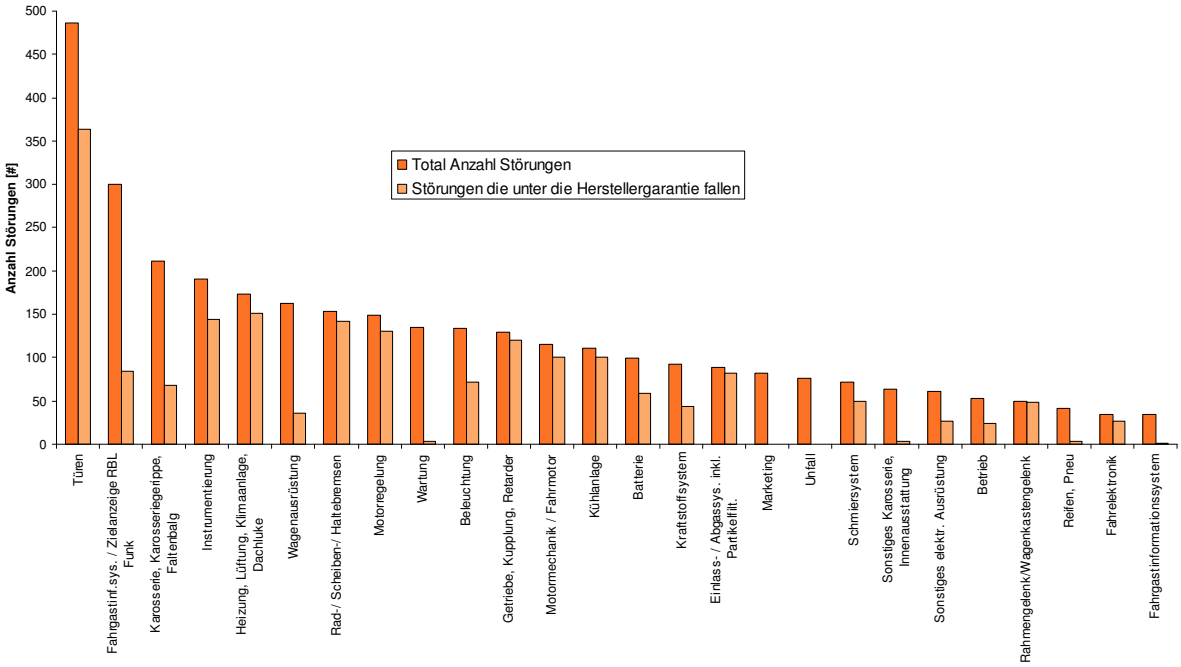
4.3 STÖRFÄLLE BEI DEN GASBUSSEN

4.3.1 Auswechslung der Zylinderköpfe

Neben zahlreichen kleineren Störfällen (siehe Kapitel 4.3.2), welche bei Neueinführungen von neuem Rollmaterial üblicherweise zu erwarten sind, gibt es bei der Einführung einer alternativen Antriebstechnologie häufig technische Probleme der Konstruktion, die alle Fahrzeuge betreffen. Anfang März 2007 wurden bei sämtlichen Gasbussen erhebliche Mängel an der Ventilschmierung festgestellt. Die Ursache dieser Mängel waren fehlerhafte Zylinderköpfe. In der Folge mussten die Zylinderköpfe in sämtlichen Gasbussen ausgewechselt werden. Da die Auswechslung sämtliche Gasbusse betraf, kam es während mehreren Wochen zu erheblichen Ausfällen der Gasbusse. Bisher waren jedoch die fehlerhaften Zylinderköpfe die einzigen systematischen Fehler, die an den Gasbussen festgestellt wurden.

4.3.2 Störfälle bei den Gasbussen

Die Häufigkeit der verschiedenen Störfälle wurde von BERNMOBIL während der gesamten Einführungsperiode (4.7.2006 - 1.11.2007) erfasst und sind in Figur 5 abgebildet. Auffallend ist, dass die 7 häufigsten Störfälle nichts mit der CNG-Antriebstechnologie zu tun haben. Insgesamt sind lediglich rund 15% der erfassten Störfälle der neuen Antriebstechnologie zuzuschreiben. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass diese Statistik stark von der Definition der Störfallkategorien abhängt. Mit 13% aller Störfälle sind Probleme mit den automatischen Türen am häufigsten aufgetreten. Oft liessen sich die Türen ohne ersichtlichen Grund weder öffnen noch schliessen oder öffneten sich während der Fahrt. An zweiter Stelle folgen mit 8% Störfälle der elektronischen Anzeigetafeln, welche die Zieldestinationen anzeigen. Der häufigste Störfall, welcher der CNG-Technologie zugeschrieben werden muss (Motorregelung), liegt mit 4% nur an 8. Stelle aller registrierten Störfälle. Über die Hälfte aller Störfälle fielen unter die Herstellergarantie und verursachten BERNMOBIL somit keine zusätzlichen Kosten.

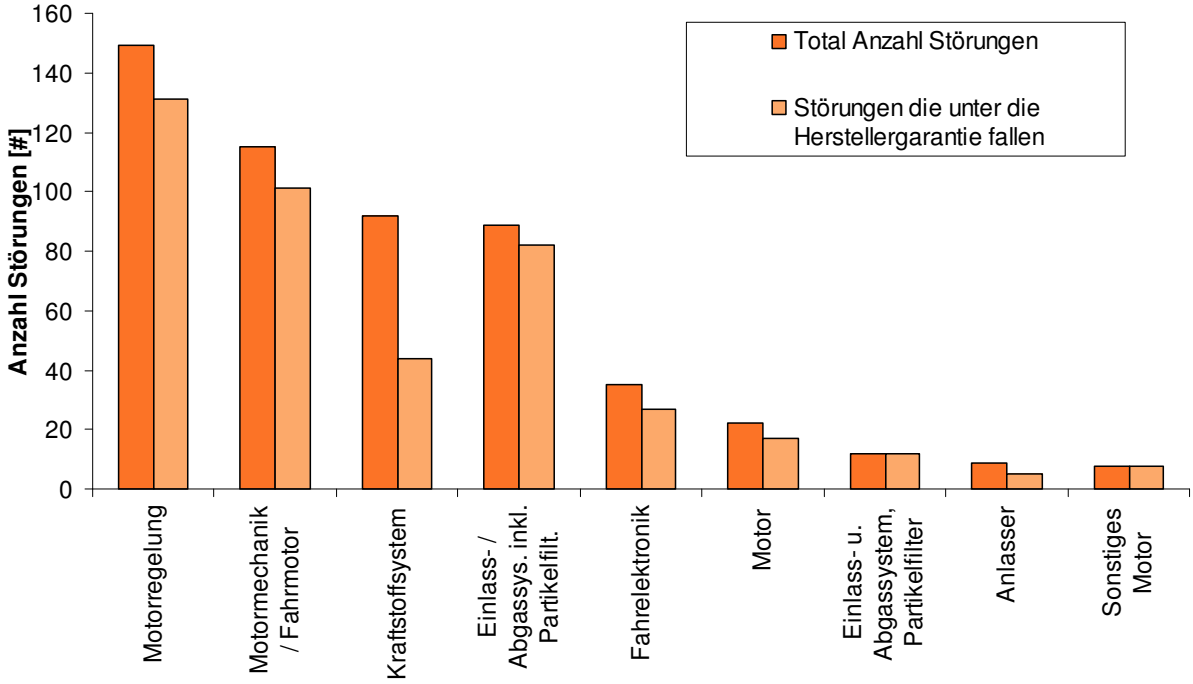


Figur 5: Die häufigsten Störfälle bei den Gas-Gelenkbussen zwischen Juli 2006 und November 2007. Datenquelle: BERNMOBIL.

4.3.3 Störfälle, die auf den CNG-Antrieb zurückzuführen sind

Insgesamt waren etwa 15% aller Störfälle direkt auf die CNG-Antriebstechnologie zurückzuführen. In Figur 6 sind die Häufigkeiten sämtlicher Störfälle, welche direkt auf die CNG-Technologie zurückzuführen waren, dargestellt (die Auswechslung der Zylinderköpfe sind hier nicht berücksichtigt – siehe dazu Kapitel 4.3). Zirka 80% all dieser Störfälle fielen unter die Herstellergarantie. ‚Motorregelungen' (der häufigste Störfall mit direktem Bezug auf die CNG-Antriebstechnologie) wurden sogar zu knapp 90% von der Herstellergarantie gedeckt. Über die Hälfte (55%) aller CNG-antriebsbezogenen Störfälle betrafen Feineinstellungen des Motors, welche durch den Hersteller während Routineservices behoben werden konnten. 87% der motorbezogenen Störfälle wurden vom Hersteller innerhalb der Garantie behoben.

Weitere häufige Störungen wurden am ‚*Kraftstoffsystem'* (17% aller CNG-Störfälle), am ‚*Einlass- und Abgassystem'* (17%) und an der ‚*Fahrelektronik*' (7%) registriert. Ein häufiges Problem war ein unerklärlicher Druckabfall auf der Gasleitung zwischen dem Tank und dem Motor. Dies führte jeweils zu einer drastischen Leistungsreduktion des Motors. Bei Störungen im *Kraftstoffsystem* war ein häufiges Problem, dass sich der Tank nicht vollständig füllen liess. Dabei muss angemerkt werden, dass die Betankungsplätze keine Gaszähler haben und ab einem gewissen Druck die Betankung automatisch abgeschaltet wird, was in der Anfangsphase zu einigen Störfällen führte. Unter ‚*Einlass- und Abgassystem'* wurden Probleme mit dem Turbolader am häufigsten aufgelistet. Dabei handelte es sich aber überwiegend um routinemässige Überprüfungen. Bei den restlichen Störfällen handelt es sich primär um diverse Probleme mit der elektronischen Steuerung. Dennoch konnten 72% der treibstoffbezogenen Störfälle unter der Herstellergarantie behoben werden.



Figur 6: Die häufigsten Störfälle, die direkt oder indirekt auf die CNG-Antriebstechnologie zurückzuführen sind. Datenquelle: BERNMOBIL.

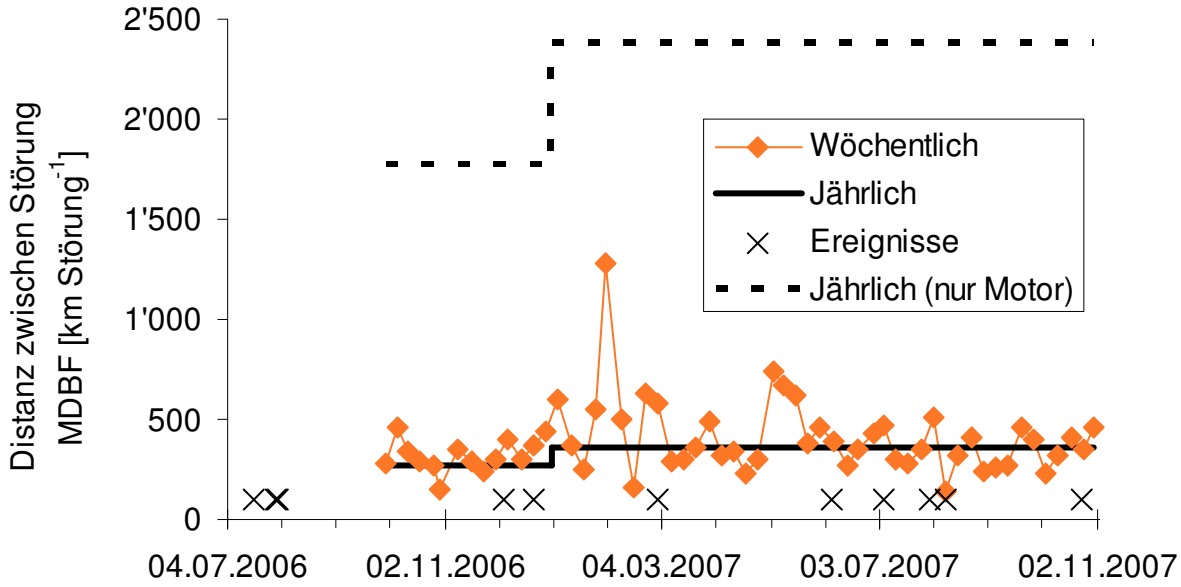
4.4 ZUVERLÄSSIGKEIT DER GASBUSSE

Eine geläufige Kennzahl, welche die Zuverlässigkeit eines Fahrzeuges beschreibt, ist die mittlere Distanz zwischen zwei Störungen (MDBF oder *mean distance between failure*). Die MDBF wird berechnet, indem man die gefahrenen Kilometer durch die Anzahl Störfälle teilt. Aus diesem Grund ist der eigentliche Wert des MDBF stark von der Definition und der Erhebungsmethode der Störfälle abhängig. Es macht daher nur Sinn, MDBF-Werte auf Basis einer gleichen Erhebungsmethode miteinander zu vergleichen.

In Figur 7 sind die wöchentlichen und jährlichen MDBF-Werte illustriert. Im Durchschnitt konnte demnach in den ersten drei Monaten 266 km mit einem CNG-Bus ohne Störung gefahren werden. In den folgenden Monaten konnten schon 365 km ohne Störung gefahren werden, was einer Zunahme von 34% entspricht. Die wöchentlich ermittelten MDBF-Werte können bis zu 230% vom Mittelwert abweichen. Da nur 15% der Störfälle auf die CNG-Antriebstechnologie zurückzuführen sind, liegt der MDBF-Wert für rein CNG-spezifische Störfälle (gestrichelte Linie in Figur 7) im ersten Jahr bei 1770 km und im zweiten Jahr bei 2375 km. Da es sich bei den bisherigen Störfällen häufig um Feineinstellungen der neuen Technologie handelte, ist anzunehmen, dass der MDBF-Wert in Zukunft weiter ansteigen und langfristig weniger fluktuieren wird.

Bei der Einführung von Dieselbussen registrierte BERNMOBIL vor einigen Jahren MDBF-Werte von 2700 km im ersten und 4300 km im zweiten Jahr. Diese Werte liegen deutlich über den Werten der Gasbusse und auch die Zunahme von über 59% zwischen dem ersten und dem zweiten Jahr ist grösser. Allerdings kann dieser Vergleich im besten Fall qualitativ bewertet werden, da sich die Störfallerhebungsmethode seither stark verfeinert hat. Ein neues Software-System erlaubt eine detaillierte Registrierung sämtlicher Ausfälle der Busse (incl. Messkampagnen, kleinere Störfälle und andere Unterbrüche), was während der Einführung der Dieselbusse noch nicht möglich war. Die detaillierte Registrierung führt zu einer höheren Anzahl Unterbrüchen, welche jedoch nicht alle auf die Zuverlässigkeit der Busse zurückzuführen sind. Zudem handelt es sich bei der Einführung der Gasbusse auch um die Einführung eines neuen Motorentypes. Eine Differenzierung der Störungen nach CNG-Technologie und Motorentyp ist jedoch praktisch unmöglich. Eine quantitative und allgemein gültige Aussage über

die Zuverlässigkeit der CNG-Technologie gegenüber der Diesel-Technologie ist daher aufgrund dieser Erfahrungen nicht möglich.



Figur 7: Mittlere Distanz zwischen zwei Störungen (MDBF) aller Gasbusse von BERNMOBIL. Diamanten-Symbole stellen die wöchentlichen und die fette Linie die jährlichen ermittelten MDBF dar. Die gestrichelte Linie stellt die MDBF für CNG-bezogene Probleme dar. Kreuze illustrieren die Ereignisse der. Alle Daten von BERNMOBIL erhalten.

BERNMOBIL konnte trotz der häufigen Störfälle während der Einführungsphase den Busbetrieb jederzeit aufrechterhalten. Generell wurden während der Einführungsphase die neuen Gasbusse nur auf Spitzenkursen eingesetzt und die altbewährten Dieselbusse auf den Grundkursen. Seit jedoch die häufigsten Störfälle behoben werden konnten, sind auch die Gasbusse auf den Grundkursen im Einsatz.

5. Modul 2: Treibstoff- und Energieverbrauch

Modul 2 befasst sich mit dem Treibstoff- und Energieverbrauch der Autobusse. Dazu wird der Treibstoffverbrauch von Gasbussen dem Verbrauch von Dieselbussen gegenübergestellt.

5.1 TREIBSTOFFVERBRAUCH DER AUTOBUSSE

Die Rohdaten zum Treibstoffverbrauch (L Diesel bzw. kg Gas pro Fahrleistung) wurden von BERNMOBIL im Rahmen der Routinekontrolle erhoben und sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Als Vergleichswert sind auch Angaben der Basler Verkehrsbetriebe (BVB) aufgelistet (siehe auch Kapitel 6.3, Figur 10).

Tabelle 4: Vergleich Treibstoffverbrauch von CNG- und Dieselbussen

Kategorie	Baujahr	KA(1)	EURO-Norm	Zeit-Periode	Max. Kap.(2)	Einsatzort	#(3)	kg oder L pro 100km(4)	kg oder L pro 100km pro FGP (5)
CNG-Solobus (VOLVO 7700)	2007	Ja	EURO 4 EEV	Okt 06	100	Bern	13	56	0.56
CNG-Gelenkbus (VOLVO 7700)	2006	Ja	EURO 4 EEV	Okt 06	150	Bern	32	68	0.45
Diesel-Gelenkbus (Volvo B7LA)	2002		EURO 3	2006/ 2007	160	Bern	22	66.9	0.42
Diesel-Gelenkbus (MAN/Van-Hool)	1997		EURO 2	2006/ 2007	160	Bern		62.5	0.39
CNG-Gelenkbus (VOLVO 7700) (6)	2006	Ja	EEV	Aug 06	150	Basel	1	67.1	0.45
Diesel-Gelenkbus der BVB(6)		Ja		Aug 06	160	Basel	37	67.3	0.42
CNG-Solobus der BVB (Mercedes) (7)	1995			2006/ 2007	89	Basel		47.5	0.53

(1) KA: Klimaanlage

(2) Maximale Kapazität: Sitz- und Stehplätze

(3) Anzahl berücksichtigter Busse

(4) Gasverbrauch in kg/100km und Dieselverbrauch im l/100km

(5) Verbrauch pro Fahrgastplatz (FGP)

(6) Feldversuch mit einem Gasbus von BERNMOBIL und 37 BVB-Dieselbussen im Basler Stadtnetz (Infras, 2006a)

(7) Mittlerer Verbrauch der Gas-Solobusse der Basler Verkehrs-Betriebe (mündliche Mitteilung, D. Saladin, BVB).

Im ersten Jahr belief sich der durchschnittliche Gasverbrauch der Gas-Gelenkbusse noch auf 74 kg pro 100km. Durch Feineinstellungen des Motors und des Getriebes konnte der Verbrauch jedoch um über 8% auf 68 kg pro 100 km reduziert werden. Dieser Wert liegt rund 13% über dem ursprünglich erwarteten Verbrauch von 60 kg Gas auf 100 km (Infras, 2005). Während der gleichen Zeitperiode lag allerdings auch der Verbrauch der Dieselgelenkbusse der EURO 3 Technologie mit 66.9 L pro 100 km 11% über dem ursprünglich angenommenen Dieselverbrauch (60 L pro 100 km). Die kleineren Gas-Solobusse (maximale Kapazität von 100 Fahrgästen) verbrauchen durchschnittlich 56 kg Gas auf 100 km. Dieser Verbrauch liegt rund 19% über dem Verbrauch von vergleichbaren Gas-Solobussen (47 kg auf 100 km) der Basler Verkehrs-Betriebe. Das mag zum einen an der für einen Solobus hohen Moto-

risierung liegen (gleich wie für den Gelenkbus, vgl. Tabelle 1), zum andern am unterschiedlichen Einsatzprofil der Fahrzeuge. Auch wenn die einzelnen Busse zum Teil stark variierende Verbräuche aufweisen, so liegt die Standardabweichung des Verbrauchs aller Busse unter 7%. Den Anteil der Klimaanlage schätzt BERNMOBIL auf rund 3 kg/100 km.

Bei einem Testversuch im August 2006 wurde ein Gas-Gelenkbus von BERNMOBIL auf dem Basler Stadtnetz eingesetzt um den Treibstoffverbrauch mit anderen Autobussen zu vergleichen (Infras, 2006a). Der durchschnittliche Gasverbrauch lag mit 67.1 kg Gas pro 100 km zirka 10% unter dem damaligen Mittelwert des Verbrauchs (74 kg pro 100km) auf dem Berner Stadtnetz. Das ist ein Indiz für die Abhängigkeit des Treibstoffverbrauchs vom Einsatzprofil, wonach in Bern ein höherer Verbrauch resultiert (Mittel über mehrere Linien im Bern im Vergleich zum Testversuch in Basel auf ausgewählten Linien).

Die ältere Generation von Dieselbussen, welche noch auf EURO 2 Technologie beruht, verbraucht 6% weniger Treibstoff als die EURO 3 Busse. Dies ist ein generell beobachteter Trend bei den meisten Fahrzeugen: die Technologie wird zwar effizienter und sauberer, der Treibstoffverbrauch nimmt jedoch zu, da die Fahrzeuge immer schwerer werden und mehr Komfort (v.a. Klimaanlage) anbieten.

Der Treibstoffverbrauch pro Fahrgastplatz ist bei den Gas-Solobussen um zirka 24% höher als bei den Gas-Gelenkbussen (Tabelle 4).

5.2 ENERGIEVERBRAUCH UND CO_2-EMISSIONEN VON DIESEL- UND GASBUSSEN

Um den Energieverbrauch und die CO_2-Emissionen von verschiedenen Antriebstechnologien zu vergleichen, muss der Energieinhalt des verbrauchten Treibstoffes berücksichtigt werden. Während beim Diesel auf etablierte Werte zurückgegriffen werden kann, muss beim CNG aufgrund der variierenden Qualität des Gases der Heizwert jeweils experimentell bestimmt werden. Messungen des Stadtlabors der Stadt Bern haben gezeigt, dass der untere Heizwert des Erdgases der CNG-Tankstelle Sandrain (zurzeit Haupttankstelle von BERNMOBIL) bei 46.6 MJ kg^{-1} liegt (Hofer, 2007). Das Gas liegt somit im Bereich des üblicherweise verwendeten Wertes für Erdgas (46.5 MJ kg^{-1}).

In Tabelle 5 sind die wichtigsten Kennwerte und der Energieverbrauch pro Fahrleistung der Gelenkbusse von Bernmobil zusammengefasst. Der Energieverbrauch der Gas-Gelenkbusse liegt mit 3169 MJ pro 100 Km Fahrleistung etwa 30 bis 35% über dem Energieverbrauch der Diesel-Gelenkbusse. Somit liegt der Mehrverbrauch in der Grössenordung des ursprünglich erwarteten Wertes (Infras 2005). Erfahrungswerte von anderen Verkehrsbetrieben zeigen, dass Gasbusse generell etwa 30% weniger energieeffizient als Dieselbusse sind (NYCT, 2000). Vergleichsmessungen der TU Graz mit Gasbussen anderer Hersteller (vgl. Kapitel 6) zeigen allerdings, dass der Energieverbrauch der Berner Gasbusse überdurchschnittlich ist.

Pro kg Gas benötigt der Kompressor der CNG-Tankanlage 0.2 kWh elektrische Energien (persönliche Mitteilung des ewb), was zirka 1% des Heizwertes von CNG entspricht. Dieser Strom muss dem Energieverbrauch der Gasbusse angerechnet werden. Der Energieverbrauch der Gasbusse pro Fahrleistung wird dadurch um rund 1% erhöht (). Der Energieaufwand für den Betrieb der Dieseltankstelle kann hingegen vernachlässigt werden, da die Pumpen schätzungsweise weniger als 500 J pro Liter Diesel benötigen.

Aufgrund des Treibstoffverbrauchs kann die CO_2-Emission pro Fahrleistung berechnet werden. Die spezifische CO_2–Emission von CNG-Treibstoff ist mit 2.56 kg CO_2 pro kg Treibstoff über 20% kleiner als bei Diesel-Treibstoff. Durch den tieferen CO_2-Gehalts des CNG-Treibstoffs ist der CO_2-Ausstoss pro Fahrleistung der Gasbusse mit 1741 g CO_2 km^{-1} etwa gleich hoch wie bei den Dieselbussen (Tabelle 5). Mit 1434 g CO_2 km^{-1} stösst der CNG-Solobus etwa 18% weniger CO2 aus als der CNG-Gelenkbus. Diese CO_2-Emissionen werden im Kapitel 6 mit gemessenen Emissionen verifiziert.

Tabelle 5: Energieverbrauch und CO_2-Emission pro Fahrleistung

	Diesel Treibstoff		CNG Treibstoff		
	Gelenkbus	Einheit	Gelenkbus	Solobus	Einheit
Verbrauch der Gelenkbusse	66.9	L 100km^{-1}	68	56	kg 100km^{-1}
Heizwert[(1)]	42.8	MJ kg^{-1}	46.6	46.6	MJ kg^{-1}
Dichte	0.832	kg L^{-1}	0.795	0.795	kg m^{-3}
Energieverbrauch der Gelenkbusse	2382	MJ 100km^{-1}	3169	2610	MJ 100km^{-1}
Energieverbrauch der Gelenkbusse (incl. Tankstelle) [(2)]	2382	MJ 100km^{-1}	3218	2650	MJ 100km^{-1}
CO_2 – Emission pro kg Treibstoff [(3)]	3.15	kg CO_2 (kg Treibstoff)$^{-1}$	2.56	2.56	kg CO_2 (kg Treibstoff)$^{-1}$
CO_2 - Emission pro km	1753	g CO_2 km^{-1}	1741	1434	g CO_2 km^{-1}

(1) Nach tabellierten Werten (Infras, 2005) und gemessenen Werten (Hofer, 2007)

(2) Die CNG-Tankstelle benötigt 0.2 kWh kg^{-1} oder 0.72 MJ kg^{-1} (Angaben ewb) um das CNG von 5 bar auf 200 bar zu komprimieren; der Energiebedarf der Dieseltankstelle (Pumpen) ist < 500 J L^{-1} (Schätzung Infras).

(3) Werte nach (Infras, 2005)

6. Modul 3: Emissionen und Lufthygiene

Die Messdatenbasis in Sachen Emissionen von Gasbussen ist relativ schwach. Um der lufthygienischen Debatte bessere Datengrundlagen zu bieten, wurden mit den neuen Gasbussen von BERNMOBIL zwei Abgasmessungen durchgeführt:

- Messungen während der Fahrt im Berner Stadtnetz (On-board)
- Messungen auf dem Rollenprüfstand an der TU Graz

6.1 MESSUNG DES SCHADSTOFFAUSSTOSSES AUF DEM BERNER STADTNETZ

Der tatsächliche Schadstoffausstoss eines CNG-Gelenkbus sowie eines Dieselgelenkbus wurde auf der Linie 10 des Berner Stadtnetzes gemessen. Die Messungen wurden von der Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (FVT) an der TU Graz am 2. und 3. Oktober 2007 durchgeführt (FVT, 2008).

Während dem Testversuch wurden die Emissionen der gängigsten Schadstoffe (CO_2, CO, NO, NO_2, NO_X, HC) sowie der Russausstoss kontinuierlich aufgezeichnet (Tabelle 6). Dazu wurde ein *On-board, In-Use Diesel Vehicle Emission Analyser* der Firma AVL List GmbH (AVL, 2006) im Bus aufgebaut und an den Auspuff angeschlossen.

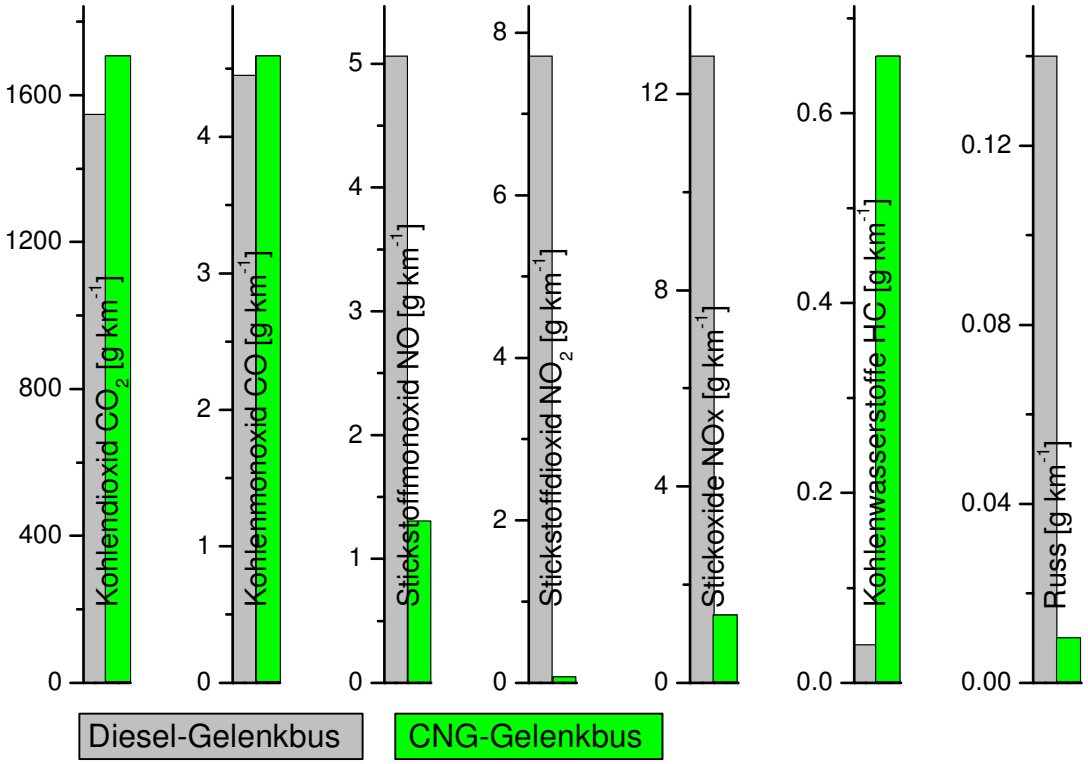
Tabelle 6: Die wichtigsten Schadstoffe und ihre Eigenschaften

Name	Eigenschaften
CO_2	Kohlendioxid ist ein geruch- und farbloses, ungiftiges Gas, welches aber in grossen Mengen zur anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt und dadurch das Klima gefährdet-
CO	Kohlenmonoxid ist ebenfalls geruch- und farbloses Gas. In sehr hohen Konzentrationen (>70 ppm) kann es jedoch für Mensch und Umwelt giftig wirken.
NO	Stickstoffmonoxid ist ein farbloses Gas, welches in hohen Konzentrationen schleimhautreizend und karzinogen ist.
NO_2	Stickstoffdioxid ist ein rotbraunes, stechend chlorähnlich riechendes Gas. In hohen Konzentrationen kann es zu Kopfschmerzen und Schwindel führen.
NOx	Stickoxide ist eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffes (siehe NO und NO_2).
HC	Kohlenwasserstoff ist ein Sammelbegriff für flüchtige organische Substanzen. Zusammen mit NOx und Sonneneinstrahlung können sich diese Substanzen in schleimhautreizende organische Verbindungen umwandeln (Sommersmog).
Russ(1)	Russ ist ein schwarzer aus Kohlenstoff bestehender pulverförmiger Feinstaub und beeinträchtigt in grossen Konzentrationen u.a. die Atemwege.
PM_{10}	PM_{10} bezeichnet Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer. Russ-Partikel sind in der Regel kleiner als 10 Mikrometer und bilden daher eine Untergruppe innerhalb der PM_{10}.

(1) Stichprobenmessungen von Russ und Feinstaub (PM_{10}) korrelieren sehr gut, deshalb gilt Russ auch als Indikator für die Feinstaubemission.

Die Line 10 verläuft über knapp 12 km von Köniz Schliern mitten durch Bern nach Ostermundigen. Mit 28 Haltestellen (Endstationen inbegriffen) entspricht sie einem typischen Steckenprofil von BERNMOBIL. Die mittlere Geschwindigkeit während der Messung betrug 18.3 km h^{-1} und die mittlere Distanz

zwischen den Stationen zirka 420 m. Die Schadstoffemissionen des CNG- bzw. Dieselbusses während des On-board Versuchs sind in Figur 8 abgebildet.



Figur 8: Emissionen von Diesel- (in grau) und Gas-Gelenkbussen (in grün) gemessen auf der Linie 10 des Berner Stadtnetzes. Messungen wurden von der FVT durchgeführt (FVT, 2008).

Wie aus Figur 8 ersichtlich ist, liegt der grosse Vorteil des Gasbusses beim tieferen Ausstoss von Russ und Stickoxiden. Die Messungen zeigen, dass der CNG-Bus lediglich rund 11% der NO_x Emissionen des Dieselbusses ausstösst. Bei den Russemissionen stösst der CNG-Bus sogar nur 4% des Dieselbusses aus. Allerdings muss hier angenommen werden, dass der Partikelfilter des für die Messungen verwendeten EURO 3 Dieselbusses nicht mehr effizient funktionierte. Bei den kohlenstoffhaltigen Emissionen hingegen schneidet der Dieselbus besser ab. Im Vergleich zum Diesel stiess der CNG-Bus bei diesem Messvergleich 10% mehr CO_2 aus (Dieselbus: 1547 g/km, CNG-Bus: 1705 g/km), was jedoch teilweise auf den hohen Treibstoffverbrauch während der Einführungsphase der Gasbusse zurückzuführen ist (siehe Kapitel 5.1). Langzeit-Erhebungen der CO_2-Emissionen anhand des Treibstoffverbrauchs der Busse deuten jedoch darauf hin, dass CNG- und Dieselbusse etwa gleich viel CO_2 emittieren (Dieselbus: 1753 g/km, CNG-Bus: 1741 g/km; Kapitel 5.2; Tabelle 5). Während die Kohlenmonoxid-Emissionen der beiden Busse in etwa gleich hoch sind, stösst der CNG-Bus rund 15-mal mehr Kohlenwasserstoffe aus als der Dieselbus. Die Messungen geben keinen Aufschluss über den Methan Anteil der Kohlenwasserstoff-Emissionen. Typische Methan-Emissionen von Gasbussen liegen jedoch häufig über 1 g/km (Nylund et al., 2004). Es kann daher angenommen werden, dass die HC-Emissionen des BERNMOBIL-Busses zu einem grossen Teil aus Methan bestehen. Methan ist für den Menschen ungiftig, ist aber ein 25-mal stärkeres Treibhausgas als CO_2. Unterstellt man, dass 95% des gemessenen HC-Wertes aus Methan besteht, so entspricht dies einem Wert von rund 15-17 g in CO2-Aequivalent (also etwa 1% im Vergleich zur CO_2-Emission).

Die Gas-Gelenkbusse werden mit Biogas aus der ARA Bern betrieben (siehe Kapitel 3.1). Biogas aus der ARA ist ein erneuerbarer Treibstoff, da er aus nachwachsender Biomasse gewonnen wird. Beim

Wachstum von Biomasse wird CO_2 aus der Atmosphäre assimiliert, weshalb in einer *Life-Cycle*-Betrachtung der Busbetrieb mit Biogas CO_2 neutral ist (siehe Kapitel 6.6). Aus dieser Sicht werden die CO_2-Emissionen der Gas-Gelenkbusse durch das Wachstum von Biomasse kompensiert.

Im Grossen und Ganzen bestätigen die Messungen die Annahmen einer früheren Studie (Infras, 2005), wonach mit Gasbussen vor allem die lufthygienischen Problemschadstoffe Russ und Stickoxide reduziert werden können.

6.2 MESSUNGEN AUF DEM ROLLENPRÜFSTAND

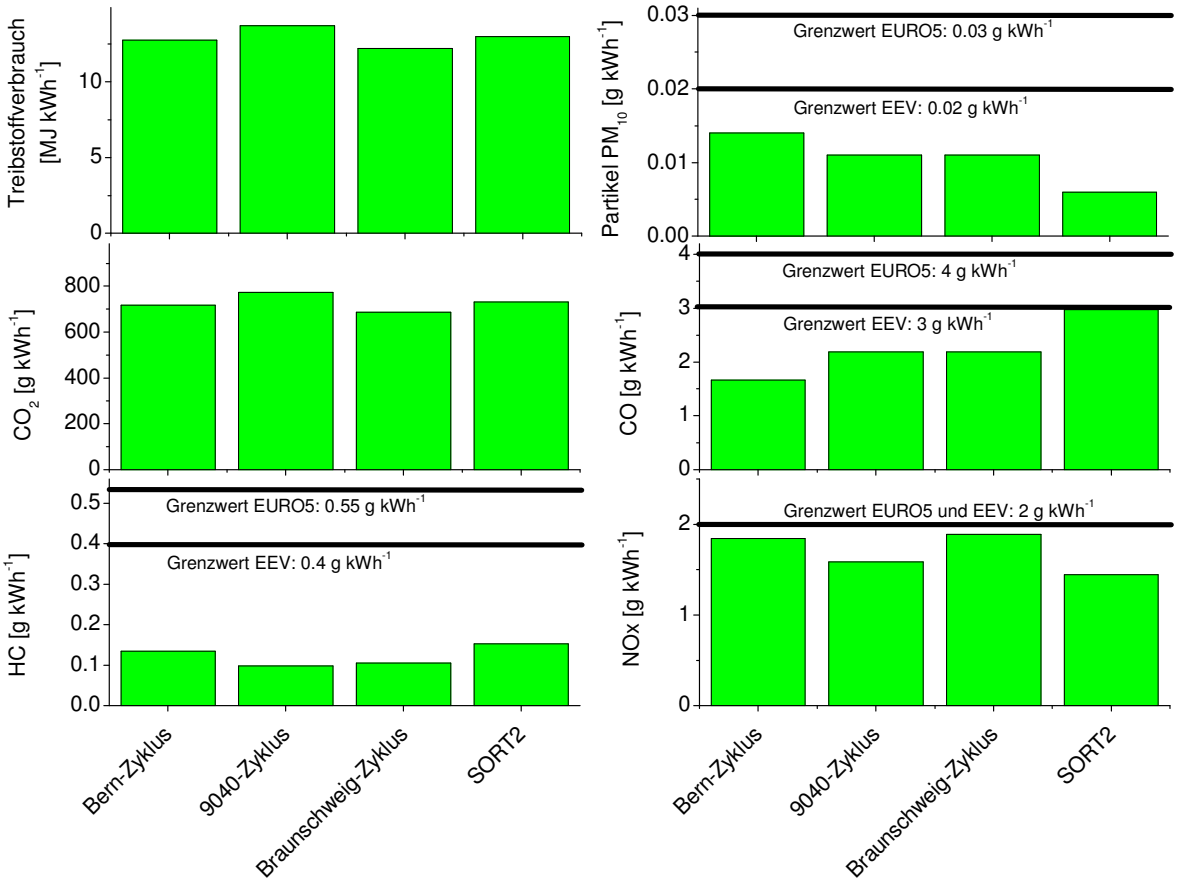
Messungen auf einem Rollenprüfstand haben den Vorteil, dass die Emissionen eines Busses für verschiedene Fahrverhalten (Fahrzyklen) gemessen werden können. Dadurch können die Emissionen verschiedener Bustypen miteinander verglichen werden, ohne dass unterschiedliches Fahrverhalten die Messungen verzerren.

Die Emissionen eines BERNMOBIL Gasbusses wurde im November 2007 an der TU Graz auf dem Rollenprüfstand getestet. Dabei konnte nicht das gleiche Fahrzeug wie im On-board-Versuch ausgemessen werden, weil der Gelenkbus von seinen Abmessungen her nicht auf dem Prüfstand betrieben werden konnte. Deshalb wurde ein CNG-Solobus eingesetzt, der aber die gleiche Motorisierung besitzt wie der Gelenkbus (vgl. Tabelle 1). Bei der Rollenprüfstandsmessung wurden die wichtigsten Abgaskomponenten (Tabelle 6) für 4 städtische Busfahrzyklen gemessen:

- Bern-Zyklus: Das Fahrverhalten während der On-board Messungen auf dem Berner Stadtnetz wurde auf dem Rollenprüfstand simuliert.
- HBEFA 9040-Zyklus: Der 9040-Zyklus aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (Infras 2004) stellt ein typisches Fahrverhalten innerorts mit kurzem Haltestellenabstand und hohen Verkehrsaufkommen dar. Die Beschleunigungsvorgänge in diesem Fahrzyklus orientieren sich an einem vorgegebenen Verkehrsaufkommen.
- Braunschweig-Zyklus: Der Braunschweigzyklus stellt ebenfalls ein typisches Fahrverhalten von Stadtbussen dar, beinhaltet aber gegenüber dem 9040-Zyklus höhere Geschwindigkeiten und höhere Beschleunigungswerte.
- Sort2: Der Sort2-Zyklus ist ein standardisierter Testzyklus der von der *International Association of Public Transport* verwendet wird, um Stadtbusse zu vergleichen (UITP, 2004b).

Der Treibstoffverbrauch und die Emissionen pro kWh des Gas-Solobusses sind für alle 4 Fahrzyklen in Figur 9 zusammengefasst. Die Messungen zeigen, dass die neuen Abgasnormen der Europäischen Union (EU, 2005), EURO 5- und EEV-Norm, vom BERNMOBIL-Solobus in allen Testzyklen eingehalten wurden.

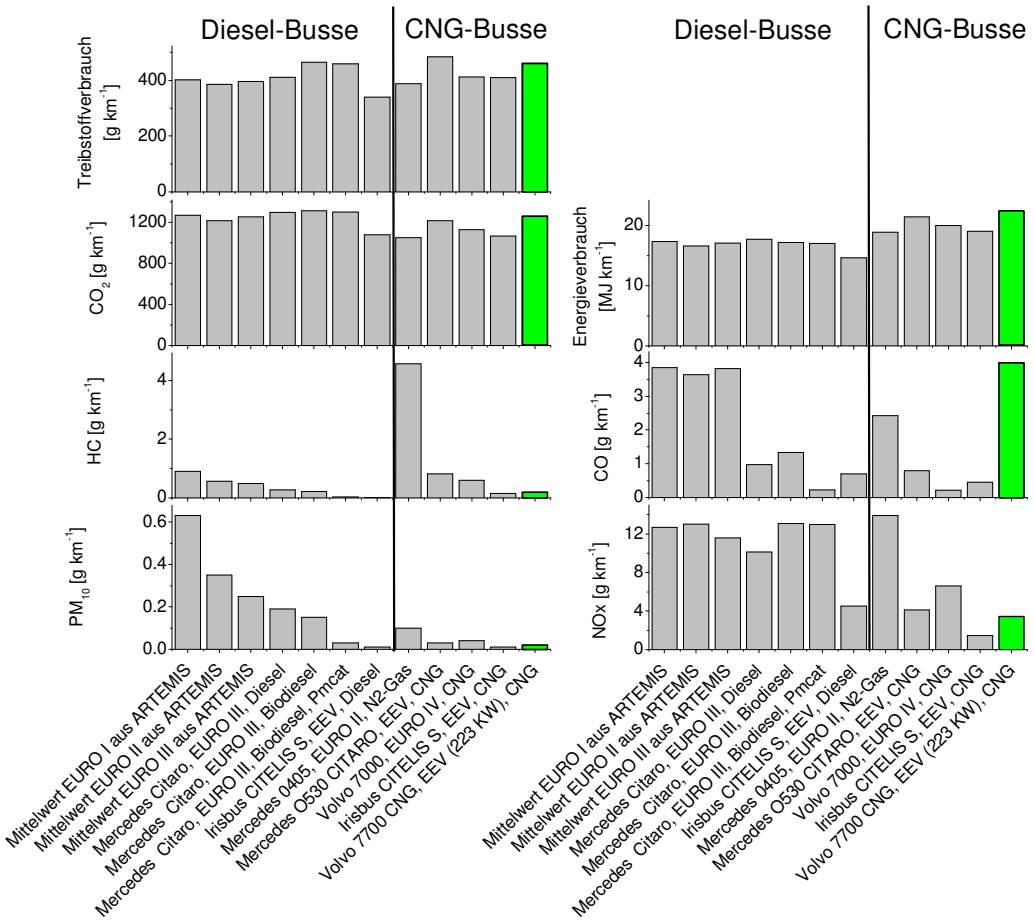
Im Vergleich zu den anderen Testzyklen waren die Partikel-Emissionen während des Bern-Zyklus am höchsten – aber noch deutlich unter dem Grenzwert EEV. Im Gegensatz dazu waren die CO-Emissionen während des Bern-Zyklus geringer als während der restlichen Testzyklen.



Figur 9: Vergleich der Emissionen des Gas-Solobusses von Bernmobil auf dem Rollenprüfstand bei unterschiedlichen Fahrzyklen. Messungen wurden von der FVT durchgeführt (FVT, 2008).

6.3 VERGLEICH DER EMISSIONEN VERSCHIEDENER BUSTYPEN AUF DEM ROLLENPRÜFSTAND

Die FVT hat in einer früheren Studie die Emissionen von verschiedenen Diesel- und CNG-Stadtbusse auf dem Rollenprüfstand verglichen (FVT, 2006). Anhand des Braunschweig-Zyklus und der früheren Messungen wurde in Figur 10 ein Quervergleich zwischen dem BERNMOBIL Solobus und anderen Diesel- und Gasbussen aufgestellt. Gleichzeitig wurden in diesen Vergleich auch die Emissionen von Stadtbussen der Euronorm 1, 2, und 3 aufgenommen, welche rechnerisch auf der Basis der ARTE-MIS-Emisssionskennfelder ermittelt wurden (FVT, 2006).



Figur 10: Vergleich der Emissionen pro km von berechneten Werten (nach ARTEMIS) und Resultaten der Rollenprüfstandmessungen verschiedener Diesel- und Gasbusse (BERNMOBIL Gasbusse sind in grün dargestellt). Messungen auf dem Rollenprüfstand wurden im Braunschweig Zyklus gemessen (FVT, 2008).

Aus Figur 10 ist ersichtlich, dass Gasbusse in der Regel vor allem tiefere Stickoxid-Emissionen aufweisen. Der BERNMOBIL-Solobus zeichnet sich vor allem mit einem tiefen HC-, NOx- und Partikel-Ausstoss aus. Wie schon in Kapitel 5.1 diskutiert, ist der Treibstoffverbrauch jedoch im Vergleich zu den anderen Bussen am höchsten. Entsprechend sind auch die CO_2-Emissionen leicht höher als bei den restlichen Bussen. Dies muss jedoch bei den Gas-Gelenkbussen relativiert werden, da diese mit Biogas aus der ARA Bern betrieben werden (siehe Kapitel 6.6).

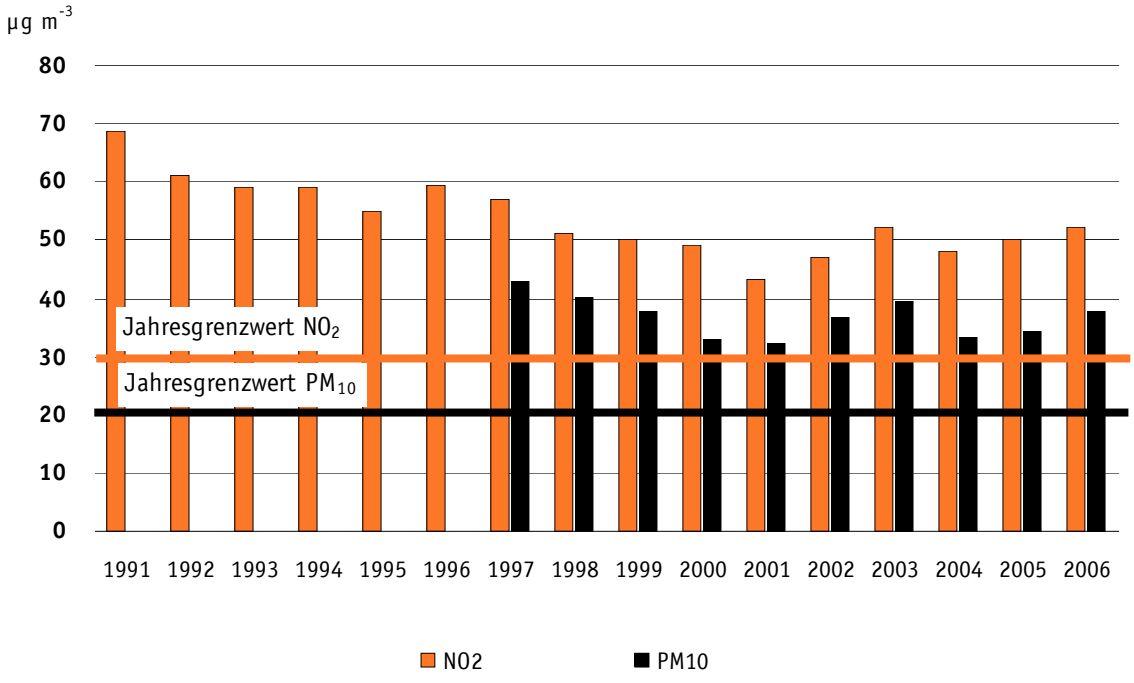
Ein Vergleich der Emissionen des Solobusses am Rollenprüfstand mit dem Gelenkbus aus den Onboardmessungen zeigt, dass das Emissionsniveau bei den NOx Emissionen beim Gelenkbus unter jenem des Solobusses lag. Dies ergibt sich einerseits aus dem direkten Vergleich der Onboardmessdaten mit den Rollenmessdaten im Bernzyklus. Andererseits wurden aus allen Rollenmessdaten Emissionskennfelder generiert, mit denen der Geschwindigkeitsverlauf aus den Onboardmessungen nachgefahren wurde. Die Ergebnisse dieser Simulation ergaben ebenfalls höhere NOx Emissionen für den 2-achsigen Solobus. Bei all diesen Vergleichen konnten allerdings die realen Steigungen bzw. Gefälle der Onboardmessung nicht berücksichtigt werden, ein Trend zu niedrigeren NOx Emissionen beim untersuchten Gelenkbus liegt jedoch vor.

Zuweilen wird moniert, die Emissionswerte von Gasbussen könnten aufgrund von Alterungseffekten der Katalysatoren mit zunehmendem Alter sich verschlechtern. Wie weit dies für die Berner Busse zutrifft, kann hier nicht weiter beurteilt werden, weil keine Langzeitmessungen vorliegen. Nur mittels periodischer Nachmessungen könnten belastbare Antworten zu diesem Aspekt geliefert werden.

6.4 IMMISSIONEN LUFTHYGIENE

Das Stadtlabor Bern misst seit 1987 die wichtigsten Luftschadstoffe (siehe Tabelle 6) an verschiedenen Messstationen in der Region Bern. Im Zentrum der Stadt ist die Luftbelastung am grössten. Bis etwa 2000 stellt das Stadtlabor eine kontinuierliche Verbesserung der NO_2- und der Feinstaubimmissionen fest (Kohli, 2008) fest. Seit 2000 stagnieren jedoch die NO_2- und Feinstaubwerte. Dieses Phänomen ist auch in den übrigen Städten der Schweiz zu erkennen trotz der technischen Fortschritte auf Seiten der Emissionen. Verschiedene Ursachen werden zur Erklärung genannt: Erhöhter Anteil primär emittierter NO_2- an den NOx-Emissionen bei modernen Dieselfahrzeugen, höherer Dieselanteil in der Fahrzeugflotte, Mehrverkehr und besondere meteorologische Bedingungen. Zurzeit laufen Untersuchungen, um das Phänomen besser zu verstehen und die verschiedenen Ursachen quantifizieren zu können.

Die Verläufe der wichtigsten Luftschadstoffe in der Stadt Bern (Bern Bollwerk) sind in Figur 11 dargestellt. Sowohl die Stickstoffdioxid- wie auch die Feinstaubbelastung liegen über den gesetzlichen Grenzwerten. Statistisch ist kein eindeutiger Trend sichtbar. Dementsprechend können auch keine Aussagen bezüglich der Auswirkungen der Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL auf die Berner Luftqualität gemacht werden. Dies ist nicht verwunderlich, weil sehr viele Schadstoffquellen zur Immissionsbelastung beitragen. Die Reduktion der Emissionen, die dank Ersatz von Diesel- durch Gasbusse erreicht wird (und die aus Emissionsmessungen hinreichend belegt ist), ist deshalb nur schwierig in einer Immissionsmessung nachweisbar. In Anbetracht der anhaltenden Überschreitung der Grenzwerte ist aber jegliche Massnahme zur Verbesserung der Luftqualität zu begrüssen.

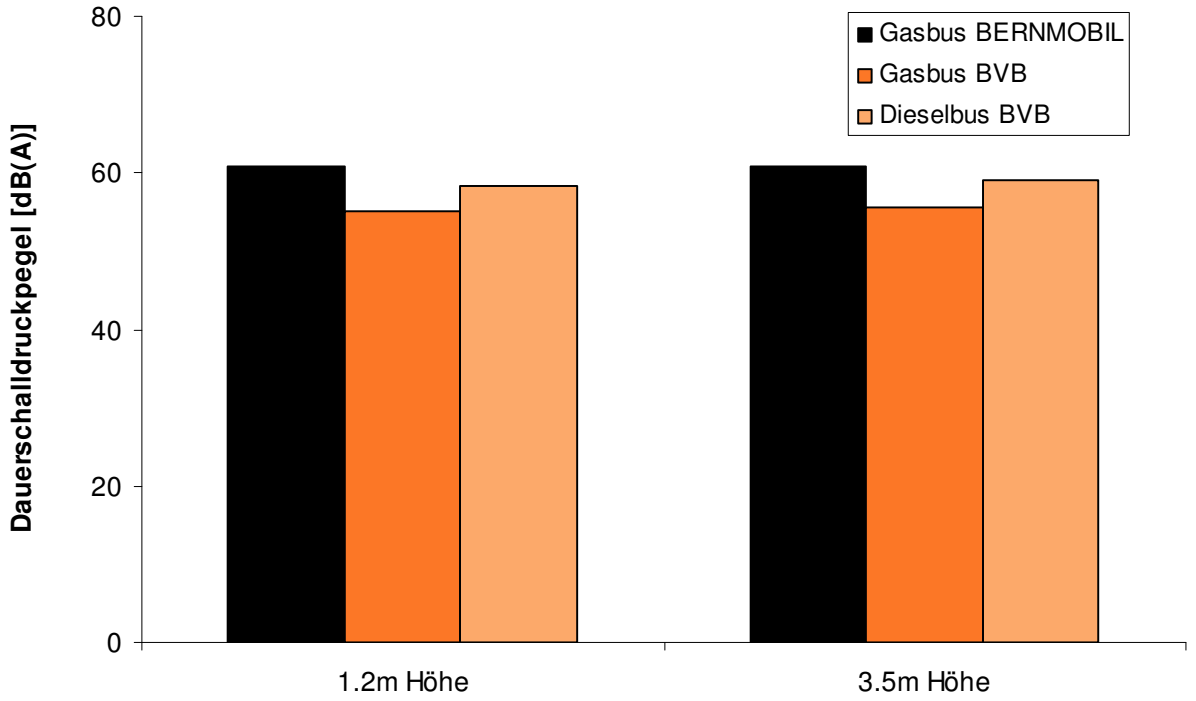


©INFRAS

Figur 11: Jahresmittelwerte der NO_2 und PM_{10} Luftbelastung in der Stadt Bern (Bern Bollwerk) für die Jahre 1991 bis 2006. Datenquelle: Datenbank BAFU Luftschadstoffe.

6.5 LÄRM IMMISSIONEN

Die Firma *Trefzer Rosa + Partner GMBH* führte zwischen April 2004 und August 2006 Lärmmessungen an vorbeifahrenden Gas-Gelenkbussen von BERNMOBIL und CNG- und Dieselsolobussen der Basler Verkehrsbetriebe durch (Trefzerrosa, 2004; 2006). Der Vergleich zwischen dem CNG-Solobus und dem Diesel-Solobus der Basler Verkehrsbetriebe deutet darauf hin, dass Gasbusse zwischen 1 und 5 dB(A) leiser sind. Dies wird von diversen Lärmmessungen an CNG- und Dieselbussen des Kanton Glarus bestätigt (Ambühl and Fernandez, 2003). Beim Anfahren lag der Lärmpegel der Gasbusse um bis zu 10.8 dB tiefer als bei vergleichbaren Dieselbussen. Auch die *International association of public transport* (UITP, 2004a) propagiert, dass Gasbusse im Vergleich zu Dieselbussen leiser sind. Es gibt allerdings auch Indizien, dass die Werte verschiedener Bustypen variieren. So zeigen Lärmmessungen mit verschiedenen Bussen, dass der CNG-Gelenkbus von BERNMOBIL zirka 2 bis 5 dB(A) lauter als ein Gas- bzw. Dieselbusse der BVB ist (Figur 12). Dieser Sachverhalt bestätigte sich in mehreren Testversuchen, in 1.2 m Höhe und in 3.5 m Höhe. Allerdings muss dieser Vergleich relativiert werden, da der CNG-Gelenkbus 3-achsig und zirka 5.5 Tonnen schwerer als der typische Solobus ist (Tabelle 1).



Figur 12: Lärmemissionen des CNG-Gelenkbus von BERNMOBIL im Vergleich zu CNG- und Diesel-Solobus der Basler Verkehrsbetriebe. Dargestellt sind die Mittelwerte einer Messreihe die Sommer- und Winterbetrieb berücksichtigt (Trefzerrosa, 2006).

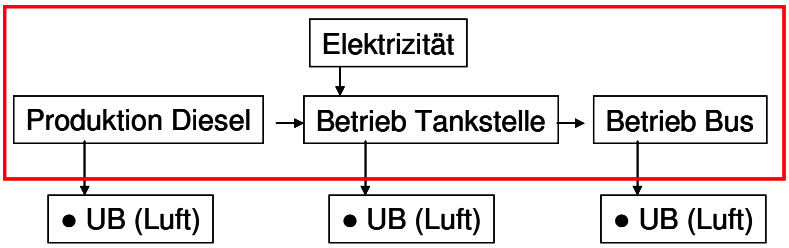
6.6 *LIFE-CYCLE* BETRACHTUNG DES BUSBETRIEBS NACH TREIBSTOFFART

Aus Umweltgründen ist es ein Anliegen von BERNMOBIL, die Gas-Gelenkbusse mit Biogas aus der ARA Bern bei Neubrück zu betreiben. Die ARA Bern hat einen Biogasreaktor gebaut, mit dem seit Januar 2008 Biogas für den Eigenbedarf der ARA und für BERNMOBIL erzeugt wird. Das Biogas für BERNMOBIL wird direkt ins Erdgasnetz von ewb eingeleitet. Dadurch kann BERNMOBIL Biogas betriebseffizient über die Erdgastankstellen beziehen. Um die ökologischen Vorteile von Biogas gegenüber anderen Antriebstechnologien (Erdgas-, Diesel- und Trolleybussen) zu quantifizieren, bedarf es einer Life-Cycle Analyse (LCA), die die Umweltbelastungen der verschiedenen Antriebsarten vergleicht. Der Trolleybus wird hier nur zu Vergleichszwecken in die Life-Cycle Analyse miteinbezogen. In dieser Studie ist er jedoch nicht Bestanteil weiterer Untersuchungen.

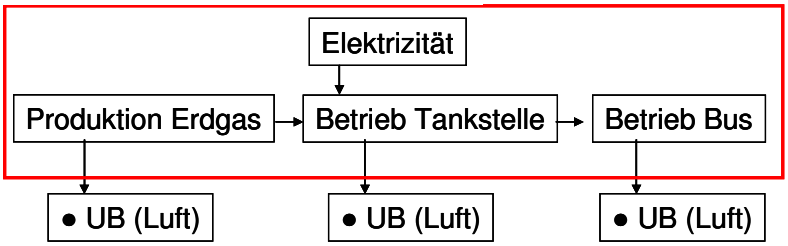
Im Folgenden werden die gesamten Umweltbelastungen, von der Produktion der Energie bis zur Leistung am Rad, für die vier verschiedenen Treibstoffe (Biogas, Erdgas, Diesel und Strom) zusammengestellt. Die LCA umfasst die Umweltbelastungen der Produktion des Treibstoffs, des Betriebs der Tankstelle und des Busbetriebs. Jedes Glied in dieser Produktionskette bewirkt eine spezifische Umweltbeeinträchtigung in Form von Emissionen in Luft, Boden und Gewässer.

In vielen Produktionsprozessen gibt es mehrere Nutzungen bei der Produktion eines Endproduktes. Der Betrieb der ARA Bern dient primär der Abwasserreinigung. Die Produktion von Biogas ist daher nur eine effiziente Nutzung der Abfallprodukte des ARA-Betriebs. Dementsprechend müssen die Umweltbelastungen des Betriebs der ARA grösstenteils der Abwasserreinigung zugeschrieben werden. Nur Umweltbelastungen, welche durch den Mehraufwand der Biogas-Produktion entstehen, können der Biogasproduktion und somit dem Betrieb der Biogasbusse zugeschrieben werden. In Figur 13 sind die Produktionsketten der drei Antriebstechnologien schematisch dargestellt. Die drei Produktionsketten werden im Folgenden zuerst beschrieben, dann wird eine Sachbilanz der relevanten Emissionen zusammengestellt und anschliessend werden die drei Antriebstechnologien verglichen.

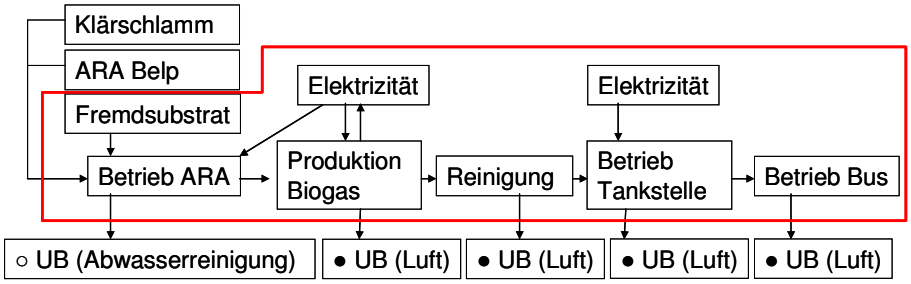
Busbetrieb mit Diesel



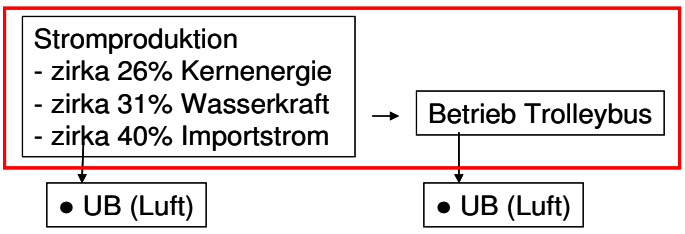
Busbetrieb mit Erdgas



Busbetrieb mit Biogas



Trolleybus-Betrieb (mit Schweizer Strommix; Niederspannung; ab Netz)



Figur 13: Systeme von der Treibstoffproduktion bis zum Busbetrieb. Die rote Line illustriert die Systemgrenze. (UB = Umweltbelastung)

6.6.1 Kurzbeschreibung der drei Systeme

- **Busbetrieb mit Diesel:** Beim Busbetrieb mit Diesel müssen sämtliche Umweltbelastungen der Produktion des Diesels, des Betriebs der Tankstelle, sowie des Betriebs der Busse, proportional zur Menge verbrauchten Diesels, den Dieselbussen angelastet werden. Während die Umweltbelastungen der Produktion des Diesels aus publizierten Studien übernommen werden können (Jungbluth, 2007), müssen die Belastungen des Bus- und Tankstellenbetriebs spezifisch für den Fall BERNMOBIL berechnet werden.
- **Busbetrieb mit Erdgas:** Auch beim Erdgas müssen sämtliche Umweltbelastungen der Produktion des Erdgases, des Betriebs der Tankstelle, sowie des Betriebs der Busse den Gasbussen angelastet werden. Die Umweltbelastung der Produktion von Erdgas wird von Faist-Emmenegger et al. (2007) beschrieben. Die Belastungen des Bus- und Tankstellenbetriebs müssen jedoch spezifisch für den Fall BERNMOBIL berechnet werden.
- **Busbetrieb mit Biogas aus der ARA Bern:** Biogas aus der ARA ist ein erneuerbarer Treibstoff, da das organischem Material, aus dem das Gas gewonnen wird, immer wieder nachwachsen kann. Da der primäre Zweck einer ARA die Reinigung des Abwassers ist, dürfen nur jene Umweltbelastungen dem CNG-Bus zugeschrieben werden, die in direktem Zusammenhang mit dem Mehraufwand der Biogasproduktion stehen. Die Umweltbelastungen des Bus- und Tankstellenbetriebs müssen, analog zum Busbetrieb mit Erdgas, dem CNG-Bus angelastet werden. Der Mehraufwand für die Produktion von Biogas innerhalb der ARA besteht aus folgenden Prozessen:
    - **Anlieferung von zusätzlicher Biomasse:** Damit genügend Biogas hergestellt werden kann, muss die ARA Bern zusätzliche Biomasse dem Klärschlamm beimischen. Ein Teil dieses Fremdsubstrats wird ab 2008 von der ARA Belp der ARA Bern über die Kanalisation zugeleitet. Diese Umleitung verläuft entlang eines natürlichen Gefälles und benötigt daher keinen zusätzlichen Energieaufwand. Die Umweltbelastung dieser Umleitungen ist daher vernachlässigbar klein. Das restliche Fremdsubstrat besteht aus Abfallprodukten und wird von umliegenden Lebensmittelherstellern mit Lastwagen angeliefert. Sämtliche Umweltbelastungen der Anlieferungen werden in dieser Studie der Gasproduktion und somit den Gasbussen angerechnet. Allerdings entspricht dies einer konservativen Bewertung, da Abfallprodukte auch ohne Biogasproduktion zur Entsorgung gebracht werden müssen.
    - **Biogasproduktion:** Die ARA Bern wird in Zukunft ‚wärmegesteuert' Biogas produzieren (mündliche Mitteilung, B. Ammann, ARA Bern). Dies bedeutet, dass zuerst der Eigenbedarf an Energie (Strom und Wärme) für den Betrieb der ARA mit dem produzierten Biogas gedeckt wird und nur der Rest des Biogases in das Gasnetz von ewb eingeleitet wird. Zurzeit existieren noch keine Emissionsprognosen für die Biogasproduktion unter Volllast. Eine einfache Methode diese Emissionen abzuschätzen besteht darin, die Emissionen des Betriebs der ARA proportional zu den zukünftigen Energieflüssen in der ARA aufzuteilen.
    - **Reinigung von Biogas:** Biogas aus der ARA enthält typischerweise etwa 60 Vol. % Methan. Damit es als Treibstoff verwendet werden kann, muss CO_2 und H_2S aus dem Biogas entfernt werden und der Methananteil sollte über 90 Vol. % betragen (Kapdi et al., 2004). Dabei entstehen Umweltbelastungen, die vollumfänglich den Gasbussen angerechnet werden müssen. Etwa 3% des produzierten Methans geht mit der Abluft verloren. Da bei der herkömmlichen Entsorgung von Bioabfall unter Umständen ebenfalls grosse Mengen Methan in die Luft gelangen, werden die Methan-Emissionen hier nicht dem Biogasbus angerechnet.
- **Trolleybus-Betrieb mit Schweizer Strommix:** Für den Vergleich mit Trolleybussen wird hier ein Schweizer Versorgungsstrommix (Niederspannung (<1000 Volt), ab Netz) unterstellt. Die Hauptemissionen entstehen bei der Produktion des Stroms, welcher zu etwa 31% aus Wasserkraft, 26% aus Kernenergie und 40% Importstrom besteht. Die Umweltbelastung der Produktion des Stroms wird in Frischknecht et al. (2007) beschrieben. Im Vergleich zu den Stromproduktionsemissionen können die Betriebsemissionen des Trolleybusses vernachlässigt werden.

6.6.2 Bewertungsmethode und Schadstoffpakete: Biogas aus der ARA

Relevanzanalysen aus ähnlichen LCA-Studien zeigen, dass die wichtigsten Umweltbelastungen bei Transportunternehmen durch die Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen erzeugt werden (Infras, 2006b). Aus diesem Grund beschränken wir die LCA für die Verkehrsbusse von BERNMOBIL auf die wichtigsten Luftemissionen (Tabelle 7). Anschliessend bilden wir eine Sachbilanz für sämtliche Luftemissionen, von der Produktion des Treibstoffs bis zum Busbetrieb, auf Basis von groben Kennziffern. Die quantifizierten Emissionen werden mit Hilfe der 'Methode der ökologischen Knappheit' (Frischknecht et al., 2008) zu Umweltbelastungspunkten (UBP) aggregiert. UBP werden durch die Multiplikation der Emissionen und der spezifischen Ökofaktoren berechnet (Tabelle 7). Anhand der UBP kann die Umweltbelastung der vier Antriebstechnologien (Diesel, Erdgas, Biogas und Strom), welche unterschiedliche Emissionen erzeugen, miteinander verglichen werden.

Tabelle 7: Berücksichtigte Luftschadstoffe und deren Ökofaktoren

Luftschadstoff	Ökofaktor nach der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al., 2008)
CO_2	0.31 UBP pro g Schadstoff
CO	0.49 UBP pro g Schadstoff
NOx	45 UBP pro g Schadstoff
Russ (1)	17'000 UBP pro g Schadstoff
PM_{10} (1)	150 UBP pro g Schadstoff

(1) PM_{10} ist eine Bezeichnung für Feinstaub der aus Partikel kleiner als 10 µm besteht. Russ ist somit in PM10 Angaben enthalten. Da Strassenemissionen in PM_{10}–Einheiten und Betriebsemissionen der ARA in Russ-Einheiten angegeben werden unterscheiden wir hier zwischen Russ und PM_{10}.

6.6.3 Sachbilanz

- Busbetrieb mit Dieseltreibstoff

Die Umweltbelastung für die Produktion von einem Kilogramm Dieseltreibstoff ist von Jungbluth (2007) beschrieben worden. Werden diese Umweltbelastungen anhand des spezifischen Dielsverbrauchs auf die BERNMOBIL-Busse abgewälzt, so ergeben sich 280 g CO_2, 0.4 g CO 1.3 g NOx und 0.127 g PM_{10}, die pro Fahrkilometer den Bussen angelastet werden müssen (Tabelle 8). Diese Luftemissionen ergeben übertragen auf einen Fahrkilometer eines BERNMOBIL-Busses rund 150 UBP pro km (Tabelle 8).

Der Energiebedarf der Dieseltankstelle wird auf rund 1000 Joules pro Liter Diesel geschätzt[1]. Der Energieaufwand für das Tanken ist somit vernachlässigbar klein. Unter der Annahme, dass die Tankstelle mit einem Schweizer Strommix betrieben wird, beträgt die Luftbelastung durch das Tanken weniger als 0.01 UBP pro Fahrkilometer der Dieselbusse (Tabelle 8).

Mittels Onboard-Messungen (Kapitel 6) wurde gezeigt, dass der Dieselbus 1547 g CO_2, 4.4g CO und12.8 g NOx pro Fahrkilometer ausstösst. Die Russemissionen des Dieselbusses waren während der Onboard-Messungen jedoch rund 27-mal höher als beim Gasbus (siehe Kapitel 6), was eventuelle auf einen defekten Partikelfilter zurückzuführen ist. In der Emissionsdatenbank HBEFA 2.1 (Infras, 2004) ist der PM_{10}-Emissionsfaktor für einen Euro 3 Dieselgelenkbus mit 0.047 g PM_{10} pro Fahrkilometer rund 6 mal höher als für den Gasbus. Um eine Verfälschung des Endresultats der LCA zu vermeiden, wurden deshalb statt den gemessenen Russemissionen jeweils PM_{10}-Emissionsfaktoren aus der Emissionsdatenbank HBEFA 2.1 (Infras, 2004) verwendet. Anhand dieser Emissionen und den

[1] Entspricht etwa einer 1000 Watt Elektropumpe.

Ökofaktoren aus Tabelle 7 beträgt die Luftbelastung durch den CO_2- CO, NOx- und PM_{10}-Ausstoss der Busse rund 1063 UBP pro Fahrkilometer (Tabelle 8).

Die totale Luftbelastung (inkl. Vorprozessen) des Dieselbusses beläuft sich auf 1228 UBP pro Fahrkilometer. Über 85% der Luftbelastung entsteht während des Betriebs der Dieselbusse.

Tabelle 8: Luftemissionen der Diesel-Gelenkbusse pro Fahrkilometer

	Produktion des Treibstoffs	Tankstelle	Betrieb der Busse	Total
$gCO_2\ km^{-1}$	280	0.02	1547	1827
$gCO\ km^{-1}$	0.4	0.00002	4.4	4.8
$gNOx\ km^{-1}$	1.3	0.00004	12.8	14
$gPM_{10}\ km^{-1}$	0.127	0.000004	0.047(1)	0.174
UBP km^{-1}	**165**	**0.01**	**1063**	**1228**

(1) Emissionsfaktor aus HBEFA V2.1 für Dieselgelenkbusse, Euro 3 mit Partikelfilter, Innerorts LSA3-Zyklus. Übrige Betriebsemissionen gemäss Figur 7 (Onboard-Messungen).

- Busbetrieb mit Erdgas

Die Umweltbelastung für die Produktion von einem Kilogramm Erdgas wird in der Studie von Faist-Emmenegger et al. (2007) beschrieben. Werden diese Luftbelastungen anhand des spezifischen Gasverbrauchs auf die BERNMOBIL-Busse abgewälzt, so ergeben sich 259 g CO_2, 0.45 g CO, 0.82 g NOx und 0.05g PM_{10}, die pro Fahrkilometer den Bussen angelastet werden müssen (Tabelle 9). Insgesamt müssen rund 124 UBP für die Produktion von Erdgas pro Fahrkilometer den Gasbussen angelastet werden (Tabelle 9).

Das Erdgas muss bei der Betankung der Busse von 5 bar auf 200 bar komprimiert werden. Der Energieaufwand dazu beträgt etwa 0.2 kWh pro Kilogramm Gas. Unter der Annahme, dass der Kompressor mit einem Schweizer Strommix betrieben wird, müssen den Gasbussen rund 7 UBP pro Fahrkilometer angelastet werden. Details zur Umweltbelastung der Stromproduktion in der Schweiz sind von Frischknecht et al. (2007) beschrieben worden.

Auch beim Gasbus dominieren die Abgase während der Fahrt die Luftbelastung (Tabelle 9). Mit etwa 594 UBP pro Fahrkilometer ist die Belastung jedoch fast 5-mal kleiner als beim Dieselbus.

Inklusiv Vorprozesse beträgt die Luftbelastung durch den Gasbus rund 725 UBP pro Fahrkilometer. Rund 82% dieser Luftbelastung entsteht während der Fahrt der Busse.

Tabelle 9: Luftemissionen der Gas-Gelenkbusse pro Fahrkilometer

	Produktion des Treibstoffs	Tankstelle	Betrieb der Busse	Total
$gCO_2\ km^{-1}$	259	16.7	1706	1982
$gCO\ km^{-1}$	0.5	0.015	4.6	5.1
$gNOx\ km^{-1}$	0.8	0.027	1.4	2.2
$gPM_{10}\ km^{-1}$	0.045	0.0025	0.008(1)	0.056
UBP km^{-1}	**124**	**6.8**	**594**	**725**

(1) PM_{10}-Emissionsfaktor eines Gas-Gelenkbusse, 3-Weg-Kat nach Infras (2008). Übrige Betriebsemissionen gemäss Figur 7 (Onboard-Messungen).

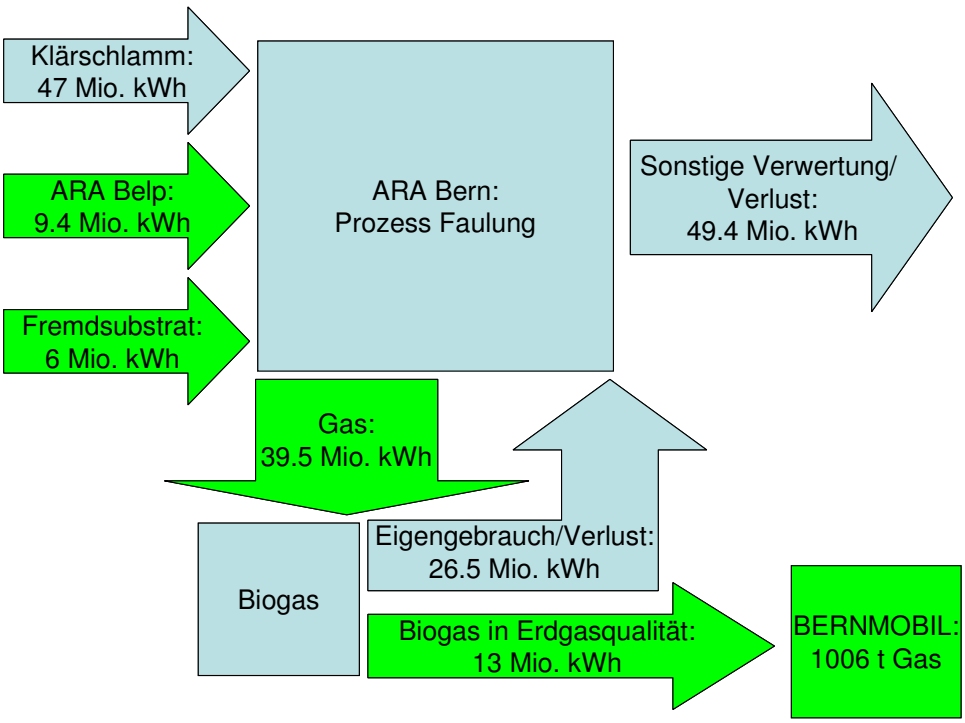
- Busbetrieb mit Biogas

Die ARA Bern bei Neubrück ist mit einer Reinigungskapazität von 550'000 Einwohnerwerten eine der grössten ARAs der Schweiz. Jährlich werden über 30 Mio. m^3 Schmutzwasser aus der Region Bern gesäubert. Der dabei entstehende Klärschlamm enthält einen Energiewert von rund 47 GWh (Niederhäusern, 2006). Ohne Produktion von Biogas wird diese Energie in Fernheizwerken und Zementwerken verwertet oder geht als Abwärme und Abgas verloren. Mittels eines Biogasreaktors kann die ARA Bern ab 2008 zirka 63% des Energiewertes von Biomasse in energetisch nutzbares Biogas umwandeln (Anhang A2). Mit dem Biogas will die ARA Bern den Eigenbedarf an Energie decken und BERNMOBIL mit Biogas versorgen. Heutige Schätzungen gehen davon aus, dass rund zwei Drittel des produzierten Gases für den Eigenverbrauch verwendet werden müssen.

Jährlich will die ARA Bern rund 1006 Tonnen (13 Mio. kWh yr^{-1}) gereinigtes Biogas für BERNMOBIL produzieren (Figur 14)[2]. Wenn der Eigenbedarf an Energie ebenfalls gedeckt werden soll, müssen 39.5 Mio. kWh yr^{-1} Biogas produziert werden. Um diese Menge Biogas zu erzeugen bedarf es rund 62.4 Mio. kWh yr^{-1} in Form von verwertbarer Biomasse. Die ARA Bern ist deshalb auf die zusätzliche Anlieferung von Biomasse angewiesen. Diesbezüglich wurden folgende Änderungen gegenüber den heutigen Energieflüssen vorgesehen (Figur 14):

- Die ARA Belp wird ihren Klärschlamm in Zukunft der ARA Bern liefern. Zu diesem Zweck wurden neue Abwasserrohre von Belp zur ARA Bern verlegt. Die ARA Belp verfügt über eine Reinigungskapazität für 40'000 Einwohner. Der jährliche Energiewert im Klärschlamm der ARA Belp wird auf zirka 9.4 Mio. kWh geschätzt. Dies entspricht einem Fünftel des Energiewertes im Klärschlamm der ARA Bern. Da der Klärschlamm in Zukunft ohne Energieaufwand per Kanalisation der ARA Bern zugeliefert wird, entstehen bei dieser zusätzlichen Anlieferung keine weiteren Emissionen.
- Die restlichen 6 Mio. kWh an energiehaltiger Biomasse müssen mit Lastwagen aus der näheren Umgebung angeliefert werden (Annahme der mittleren Anlieferungsdistanz: 100 km). Potentielle Lieferanten sind nationale Lebensmittelhersteller, welche energiehaltige Abfallprodukte in einer *Win-Win* Situation günstig bei der ARA Bern abliefern können. Unter der Annahme, dass der angelieferte Lebensmittelabfall einen mittleren Heizwert von 2.12 kWh kg^{-1} aufweist (BFE, 2001), müssten jährlich 41 kt Nahrungsabfall angeliefert werden. Dies entspricht jährlich 113 Lastwagen, die je 25 t Abfall bei der Aare Bern anliefern müssten.

[2] Bei einem Verbrauch der Gelenkbusse von 68 kg Gas pro 100 km, reichen 1006 t Gas für rund 1.5 Mio. km Fahrleistung.



Figur 14: Prognose der jährlichen Energieflüsse in der ARA Bern mit einer Biogasproduktion (in Erdgasqualität) von 13 Mio. kWh. Um diese zu erreichen muss die Biomassenzufuhr gegenüber dem heutigen Zustand um 33% gesteigert werden. Die Änderungen der Energieflüsse sind grün hervorgehoben. Jede dieser Änderungen beinhaltet im Vergleich zum herkömmlichen Betrieb eine zusätzliche Umweltbelastung, die letztlich dem Busbetrieb mit Biogas angelastet werden muss.

- **Anlieferung von Fremdsubstrat:** Die mittlere CO_2-, CO- und NOx-Emission der Schweizer 40 Tonnen Diesellastwagenflotte[3] betrug im Jahr 2005 respektive 928, 1.9 und 9.8 g km^{-1} (Infras, 2004). Verteilt auf die produzierte Menge Biogas, entspricht dies 10.4 g CO_2, 21 g CO und 110 g NOx pro kg Gas. Umgerechnet auf den Gasverbrauch der Gasbusse ergibt dies 7.1 g CO_2, 0.015 g CO, 0.075 g NOx und 0.002 g PM_{10} pro km Fahrleistung. Diese Emissionen ergeben eine Luftbelastung von etwa 6 UBP pro Fahrkilometer (Tabelle 10).
- **Produktion des Biogases:** Zurzeit gibt es keine detaillierten Emissionsprognosen für die Biogasproduktion unter Volllast. In der ARA Bern werden zirka 20% des Energiegehaltes der Biomasse in Biogas umgewandelt (Figur 14). Die konservative Annahme, dass auch 20% der Umweltbelastung des Betriebs der ARA auf die Biogasproduktion abgewälzt werden, ist daher eine obere Schätzung der Umweltbelastung für die Biogasproduktion. Die jährlichen Umweltbelastungen der ARA Bern betrugen im Jahr 2006 rund 2920 kg CO, 511 kg SO_2, 4453 kg NOx und 548 kg Russ (AraBern, 2006). Im Jahr 2008 werden sich diese Umweltbelastungen, proportional zur Zunahme der verarbeiteten Biomasse, um etwa 32% erhöhen. Bei einer Produktion von 1006 t Biogas schätzen wir daher die Luftbelastung für ein kg Biogas auf rund 0.7 g CO, 1.1 g NOx und 0.14 g Russ (Tabelle 10). Übertragen auf die Fahrleistung der Gasbusse entspricht dies rund 0.01 g CO, 0.016 g NOx und 0.002 g Russ pro km Fahrleistung. Insgesamt beträgt die Luftbelastung für die Biogasproduktion unter den konservativen Annahmen etwa 35 UBP pro Fahrkilometer (Tabelle 10).
- **Reinigung des Biogases:** Bevor das Biogas ins Erdgasnetz von ewb eingeleitet werden kann, muss es gereinigt werden. Dieser Prozess verursacht laut Jungbluth et al. (2007) 192 g CO_2, 0.096 g CO, 0.19 g NOx und 0.011 g PM_{10} pro Nm^3 gereinigtes Gas. Übertragen auf die Fahrleistung der Gasbusse entspricht dies rund 164 g CO_2, 0.082 g CO, 0.164 g NOx und 0.023 g PM_{10} pro km Fahrleistung (Tabelle 10). Insgesamt beträgt die Luftbelastung für die Biogasproduktion etwa 62 UBP pro Fahrkilometer. Die bei der Reinigung entstehenden Methan-Emissionen (etwa 3% des produzierten Methans) sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt, da es sich um biogenes Me-

[3] Annahme: Die Auslastung der Lastwagen beträgt im Durchschnitt 62%.

than handelt, welches bei der Entsorgung von Bioabfall auf einer Deponie ebenfalls entstehen würde.

Busse, die mit Biogas betrieben werden, stossen nach bisherigen Erkenntnissen gleichviel Schadstoffe aus wie Erdgasbusse. Biogas ist jedoch eine erneuerbare Ressource, da organisches Material immer wieder nachwachsen kann. Beim Wachsen von Pflanzen wird CO_2 assimiliert und aus der Atmosphäre entzogen. Der Biogasbus stösst nur soviel CO_2 aus, wie bei der Produktion von Biomasse der Atmosphäre entzogen wird. Der Busbetrieb mit Biogas ist daher CO_2-neutral und der CO_2-Ausstoss während der Fahrt kann gleich 0 gesetzt werden.

Die totale Luftbelastung (inkl. Vorprozessen) des Biogasbusses beläuft sich somit auf 175 UBP pro Fahrkilometer. Etwa 37% der Luftbelastung entsteht während des Betriebs der Biogasbusse.

Tabelle 10: Luftemissionen der Gas-Gelenkbusse pro Fahrkilometer

	Anlieferung von Fremdsubstrat	Produktion des Treibstoffs	Reinigung des Biogases	Betrieb der Tankstelle	Betrieb der Busse	Total
$gCO_2\ km^{-1}$	7.1	0	164	16.7	0	188
$gCO\ km^{-1}$	0.015	0.01	0.082	0.015	4.59	4.71
$gNOx\ km^{-1}$	0.075	0.016	0.164	0.027	1.38	1.66
$gRuss\ km^{-1}$		0.002				0.002
$gPM_{10}\ km^{-1}$	0.002		0.023	0.0025	0.008	0.036
UBP km^{-1}	**5.9**	**35**	**61.7**	**6.8**	**65**	**175**

- Trolleybus-Betrieb mit Schweizer Strommix

Die Umweltbelastung für die Produktion von einer Wattstunde elektrischer Energie ist von Frischknecht et al. (2007) beschrieben worden. Werden diese Umweltbelastungen auf den typischen Stromverbrauch (2.7 kWh pro km; Verbrauchswert eines SwissTrolley 3 gemäss Hess (2006)) von Trolleybussen abgewälzt, so müssen rund 331 g CO_2, 0.3 g CO, 0.54 g NOx und 0.12 g PM_{10} pro Fahrkilometer den Trolleybussen angelastet werden. Diese Luftemissionen ergeben rund 145 UBP pro km (Tabelle 11).

Tabelle 11: Luftemissionen von Trolleybussen pro Fahrkilometer

	Produktion des Treibstoffs
$gCO_2\ km^{-1}$	331
$gCO\ km^{-1}$	0.30
$gNOx\ km^{-1}$	0.54
$gPM_{10}\ km^{-1}$	0.12
UBP km^{-1}	**145**

6.6.4 Vergleich der Umweltbelastungen

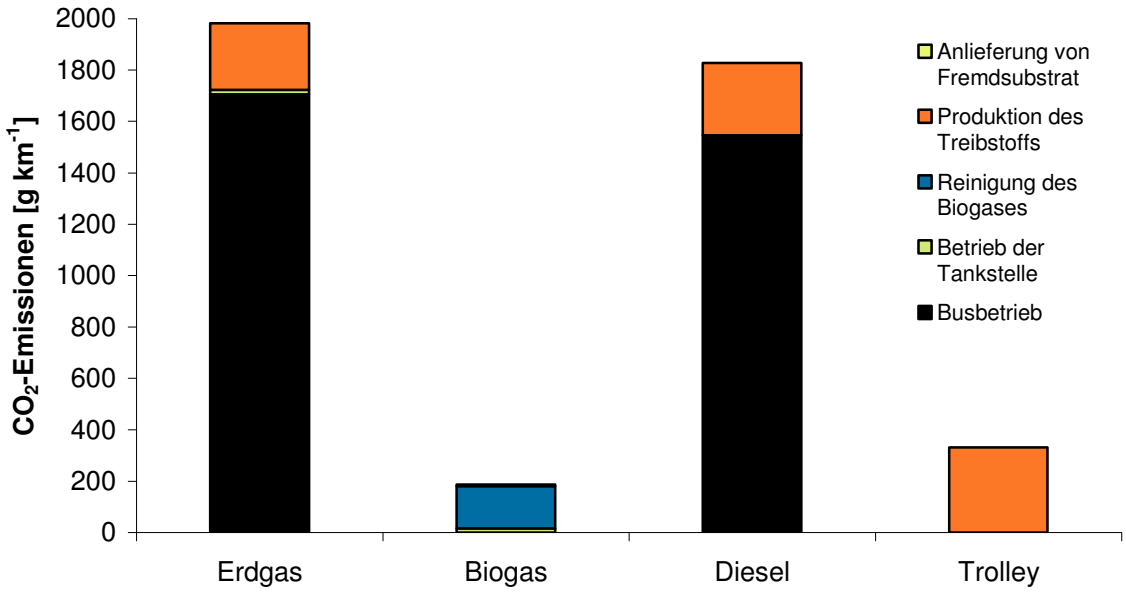
Um die ökologische Effizienz der vier Antriebstechnologien miteinander zu vergleichen, werden in Figur 15 und 16 die CO_2-Emissionen und die UBP pro Fahrkilometer miteinander verglichen.

Bei den beiden fossilen Brennstoffen (Diesel und Erdgas) überwiegen die CO_2-Emissionen während der Fahrt der Busse. Die CO_2-Emissionen bei der Produktion machen hier weniger als 15% der Gesamtemissionen aus. Werden die Gasbusse jedoch mit Biogas betrieben, so entfallen die CO_2-Emissionen des Fahrbetriebs. Mit 164 g CO_2 pro km produziert die Gasreinigung die grössten CO_2-Emissionen bei den Biobussen. Im Totalen stossen jedoch die Gasbusse, die mit Biogas betrieben werden, nur etwa 10% der CO_2-Emissonnen der Erdgas- bzw. Diesel-Busse aus. Bei einer Jahresfahrleistung von 1.4 Mio. km (Figur 1) können durch die Verwendung von Biogas statt Diesel mit den Gas-Gelenkbussen jährlich rund 2300 Tonnen CO_2-Emissionen eingespart werden.

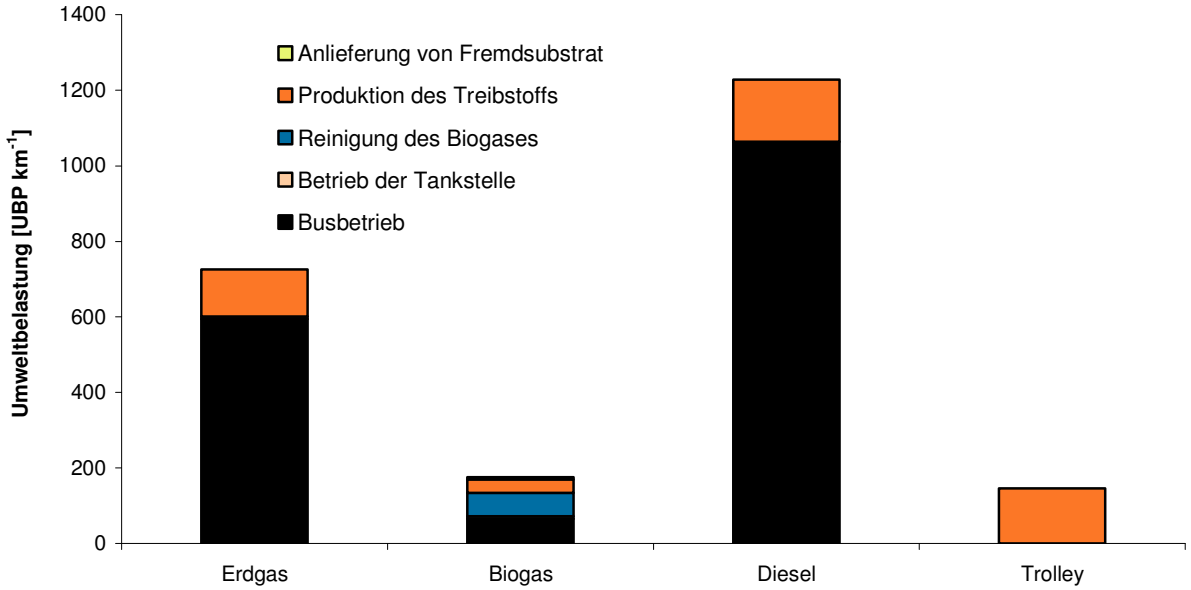
Auch bei der Betrachtung der gesamten Luftbelastung schneidet der Biogasbus mit 175 UBP pro Fahrkilometer am besten ab. Demnach beträgt die Luftbelastung des Erdgasbusses mit 725 UBP pro Fahrkilometer rund 4mal mehr als die des Biogasbusses. Der Dieselbus schneidet mit über 1228 UBP pro Fahrkilometer am schlechtesten ab. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass moderne EURO-5 Dieselbusse ebenfalls deutlich tiefere Umweltbelastungswerte aufweisen.

Anhand dieses Vergleichs ist Biogas aus ökologischer Sicht, insbesondere hinsichtlich der CO_2-Emissionen, deutlich besser als Diesel oder Erdgas. Trotz zusätzlicher Lastwagenfahrten für die Anlieferung von Fremdsubstrat verursacht der Betrieb mit Biogas rund 4mal weniger Luftbelastung als Erdgas und 7mal weniger als Diesel.

In diesem Bericht wird der Trolleybus nur zu Vergleichszwecken aufgelistet. Der Trolleybus weist hinsichtlich der CO2-Emissionen wie auch bezüglich Luftschadstoffen eine ähnlich hohe Belastung wie der Biogasbus auf. Allerdings ist die Umweltbelastung eines Trolleybusses direkt vom verwendeten Strommix abhängig. Zudem benötigt der Betrieb eines Trolleybusses eine grosse Infrastruktur (Fahrleitungen etc.), die im Vergleich zu nicht spurgebundenen Bussen mit höheren Kosten verbunden ist.



Figur 15: CO_2-Emmissionen der Gelenkbusse, Vorprozesse (Produktion, Anlieferung von organischem Material) inbegriffen.



Figur 16: Umweltbelastung der Gelenkbusse, Vorprozesse (Produktion, Anlieferung von organischem Material) inbegriffen.

7. Modul 4: Betriebliche Umstellungen

Die Einführung der CNG-Technologie hatte neben den baulichen Massnahmen im Busdepot auch eine Reihe von betrieblichen Umstellungen zur Folge. Im Folgenden wird der Mehraufwand des Betriebes mit Gasbussen erläutert.

7.1 MEHRAUFWAND BEIM TANKEN

Bei Normalbetrieb können die Gasbusse über Nacht an ihren Standorten im Busdepot betriebseffizient und ohne Mehraufwand im Vergleich zum Dieselbetrieb mit Gas betankt werden (Kapitel 4.2). Der Brand und anschliessende Ausfall der Betankungsanlage führte jedoch während 12 Monaten zu beträchtlichen Mehraufwand. Während dieser Zeit mussten sämtliche 45 Busse an einer Ausweichstankstelle betankt werden (Tabelle 12). Insgesamt fielen dadurch pro Monat zirka 4000 km Leerfahrten an. Für diesen Mehraufwand musste ein zusätzlicher Fahrer eingestellt werden, der ausschliesslich mit dem Betanken der Busse beschäftigt war.

Tabelle 12: CNG-Tankstellen im Umkreis des Busdepots

Tankstelle	Distanz [km](1)	Fahrzeit [min] (2)	Bemerkung
Busdepot Eigerplatz	0	0	Definitive Tankstelle von BERNMOBIL(3)
Sandrain	1.6	2	Ausweich-Tankstelle von BERNMOBIL(3)
Gümligen	6.3	10	Alternative Tankstelle
Grauholz	10.6	16	Alternative Tankstelle

(1) Distanz vom Busdepot BERNMOBIL (Eigerplatz) zur Tankstelle

(2) Mittlere Fahrzeit in eine Richtung

(3) Ausschliesslich von BERNMOBIL benutzte Tankstellen

Ein weiteres Problem ergab sich durch ineffizientes Betanken (Tank wurde nicht immer vollständig gefüllt) und den hohen Treibstoffverbrauch (anfänglich durchschnittlich 74 kg Gas pro 100 km) der Gas-Gelenkbusse während den ersten 12 Monaten. Damit der Fahrbetrieb von BERNMOBIL gewährleistet werden kann, müssen die Gasbusse eine Mindestreichweite mit einem vollen Tank von 350 km erreichen. Diese Mindestreichweite konnte anfangs von einzelnen Bussen nicht erreicht werden. In diesen Fällen mussten die Busse vor Beendigung des Tageseinsatzes zusätzlich betankt werden. Durch Feineinstellungen des Motors und des Getriebes konnte der mittlere Treibstoffverbrauch jedoch deutlich reduziert werden (Kapitel 5). Zudem wurde beim Betanken der Enddruck im Gastank der Busse von anfänglich 200 bar auf 250 bar erhöht. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass genügend Gas für eine Tagestour mitgeführt werden konnte. Die mittlere Reichweite liegt heute bei ~360 km und alle Gasbussen können seither den Tageseinsatz ohne zusätzliches Tanken ausführen.

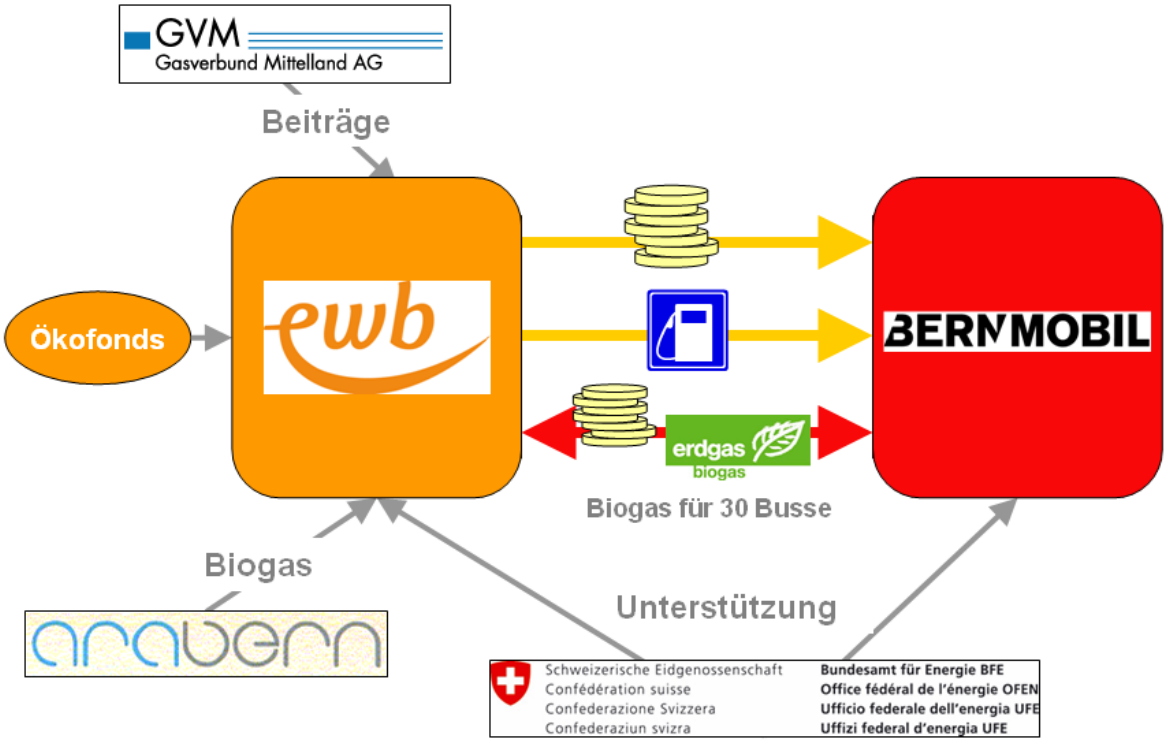
7.2 AUSBILDUNG DER MITARBEITER

Bei der Einführung von neuem Rollmaterial müssen die betroffenen Mitarbeiter geschult werden, unabhängig davon, ob es sich um CNG- oder Dieselbusse handelt. BERNMOBIL schätzt die Kosten für eine solche Grundausbildung für alle Mitarbeiter auf zirka 150'000.- CHF. Die Grundausbildung dauerte etwa 2 Stunden und wurde von sämtlichen Busfahrern besucht.

Zusätzlich wurde ein technischer Ausbildungskurs vom Bus-Hersteller durchgeführt. Die Kosten für diesen Kurs werden von BERNMOBIL auf zirka 13'000.- CHF geschätzt (exkl. Lohnkosten). Der Kurs dauerte 2 Wochen und wurde vom betroffenen Personal der Garage und Disponenten besucht.

8. Modul 5: Finanzielle Aspekte

Die finanziellen Rahmenbedingungen sind nicht unerheblich für einen Entscheid wie die Einführung einer alternativen Traktionsart. Das war auch im Fall Bern so. Grundsätzlich ging BERNMOBIL von der Maxime aus, die Einführung von Gasbussen habe für BERNMOBIL kostenneutral auszufallen. Als „Benchmark“ galten dabei konventionelle Dieselbusse modernster Bauart. Die nachstehende Grafik zeigt die Akteure und Finanzflüsse, welche hinter der Einführung der Gasbusse bei BERNMOBIL stehen bzw. diese ermöglichten. Neben den beiden Hauptpartnern BERNMOBIL und ewb waren eine Reihe weiterer Akteure involviert. Dieses Netzwerk garantierte, dass die bei der Einführung auftretenden Mehraufwendungen finanziert werden konnten. Im Wesentlichen sind es fünf Komponenten, bei welchen finanzielle Aspekte eine wichtige Rolle spielen:



Figur 17: Partner und Finanzflüsse des Projekts Gasbusse von BERNMOBIL

Fahrzeuge: Gasbusse sind in der Regel um rund 10 bis 15% teurer als Dieselbusse. Im Falle Bern betrug die Differenz 65'000 CHF pro Bus. Dieser Mehraufwand wurde durch GVM Mittelland und ewb übernommen. Bei total 45 Bussen ergibt das einen Betrag von knapp 3 Mio. CHF. Damit verfolgt die Gasindustrie grundsätzlich den Einstieg in den Treibstoffmarkt und sieht dafür im ÖV einen tauglichen und publikumswirksamen Werbeträger.

Einführungsaufwendungen: ewb leistete dafür einen einmaligen Betrag (6-stellig), womit gastraktionsspezifische Sonderaufwendungen bei der Einführung der Gasbusse abgedeckt wurden (Schulungskosten, Werkstatt-Infrastruktur und -ausrüstung etc.).

Betriebskosten: Für den betrieblichen Mehraufwand vergütet ewb der Transportunternehmung BERNMOBIL ein Entgelt pro Fzkm. Damit werden leicht höhere Betriebskosten abgegolten, wie sie bereits in der Evaluation erwartet wurden (Infras 2006). Eine präzise Angabe über die effektiven (Mehr-) Kosten ist allerdings nach wie vor schwer ermittelbar, denn für einen genauen Vergleich (zwischen Diesel- und Gasbus) müssten zwei vergleichbare Flotten mit gleichen Einsatzprofilen und -zeitpunkten verfügbar sein. Dazu kommt, dass z.B. bei der Wartung (der präventiven Instandhaltung)

die Service-Intervalle bei Gas- und Dieselbus differieren (Gas: 20, 40, 60 etc kkm; Diesel: 15, 30 kkm). Entsprechende Zahlen liegen deshalb nicht vor. Gleiches gilt auch für den korrektiven Unterhalt: auch hier ist ein Vergleich nicht möglich. Hier allerdings ist anzumerken, dass der grössere Teil der Einführungsprobleme nicht gas-traktionsspezifisch war (vgl. Kap. 4).

Gasbetankungsanlage: Eine gewichtige Investition betraf die Gasbetankungsanlage. Diese Anlage wurde durch ewb erstellt, befindet sich in deren Eigentum und wird auch durch ewb betrieben. Allerdings übernahm der so genannte Ökofonds einen namhaften Betrag in Millionenhöhe für diese Investition. Zehn Prozent des Jahresgewinns, den Energie Wasser Bern an die Stadt Bern ausschüttet, fliessen in den Ökofonds, mit dem erneuerbare Energien und energieeffiziente Technologien in der Region Bern gefördert werden. Die mit der Tankstelle verbundenen Probleme bzw. die notwendig gewordenen Zusatzinvestitionen mussten durch ewb als Betreiber der Anlage übernommen werden.

Gaspreis: Die Maxime der Kostenneutralität von BERNMOBIL bezieht sich auch auf den Energiepreis. So besteht für die Festlegung des Gaspreises, den ewb BERNMOBIL in Rechnung stellt, eine spezielle Vereinbarung. Danach sollen die Ausgaben für den Energiebedarf der Gasbusse gleich hoch ausfallen, wie wenn die gleiche Fahrleistung mit Dieselbussen betrieben würde. Der Gaspreis wird dabei an den Dieselpreis gekoppelt (indexiert). Steigt oder fällt der Dieselpreis so wird auch der Gaspreis proportional erhöht oder gesenkt. Eine spezielle Situation ergibt sich bezüglich der Mineralölsteuer. Seit 1. Juli 2008 wird Gas als Treibstoff bei der Mineralölsteuer aus ökologischen Gründen privilegiert: Erdgas wird für konzessionierte Transportunternehmungen mit 4.9 Rp./kg besteuert (vor dem 1. Juli 2008 mit 18 Rp./kg), Biogas ist steuerbefreit. Es besteht also aus dieser Sicht für beide Partner das Interesse, so viel Biogas als möglich einzusetzen, um auf die Bezahlung der Mineralölsteuer verzichten zu können. Beide Partner teilen sich diesen „Gewinn“ hälftig auf.
Bezüglich Mengen wurde zwischen ewb und BERNMOBIL vertraglich vereinbart, dass ewb jährlich 1 Mio. kg Biogas beschafft und zur Verfügung stellt, was ungefähr dem Jahresverbrauch von 30 Gelenkbussen entspricht. Zu diesem Zweck hat sich ewb bei der Finanzierung der neuen Biogas-Anlage bei der ARA Bern engagiert und erhält so einen entsprechenden Vorzugspreis. Diese Anlage konnte allerdings erst im Jahr 2008, d.h. mit Verzögerung in Betrieb genommen werden. Der Grund lag bei Lieferengpässen des deutschen Biogas-Anlagenbauers, weil die Nachfrage nach solchen Anlagen in jüngster Zeit international massiv zugenommen hat. Jedenfalls fahren die Berner Gasbusse seit 2008 zunehmend mit Biogas, und das angestrebte Mengenziel gemäss Vereinbarung dürfte mittlerweile erreicht sein.

Schliesslich hat auch das Bundesamt für Energie (BFE) die Einführung von Gasbussen mit finanziellen Beiträgen zugunsten von ewb und BERNMOBIL unterstützt. Das BFE hat auch die Erstellung dieses Erfahrungsberichts veranlasst und finanziert.

9. Modul 6: Akzeptanz der Gasbusse

9.1 INNERBETRIEBLICHE AKZEPTANZ

Die innerbetriebliche Akzeptanz wurde anhand einer Befragung von Vertretern des Personals (Werkstatt und Fahrer) erfasst. Das Personal beantwortete Fragen bezüglich Erfüllung positiver/negativer Erwartungen (z.B. Mehraufwand), der Schulung und dem Umgang mit den Gasfahrzeugen (Fahrgefühl, Stressfaktoren, Lärm, etc). Es wurde ausserdem nachgefragt, ob die Leute die Politik von BERNMOBIL in Sachen Luftqualität und Klima befürworten (komplette Frageliste siehe Anhang A3).

Die Befragungen wurden per Telefon Mitte November 2007 durchgeführt. Der Zeitpunkt der Befragung wurde so gewählt, dass Mitarbeiter sich schon 15 Monate mit den neuen Fahrzeugen auseinander setzen konnten. Total wurden zwei Mitarbeiter der Werkstatt und drei Busfahrer befragt. Die beteiligten Mitarbeiter wurden vom Projektleiter der Fahrzeuge ausgesucht.

Werkstatt:

Generell haben beide Mitarbeiter den Mehraufwand als geringfügig eingeschätzt. Abgesehen von der zusätzlich nötigen Infrastruktur wurde der Aufwand vergleichbar mit einer Anschaffung von neuen Dieselbussen eingestuft. Als Hauptproblem wurde von beiden Mitarbeitern das Betanken der Fahrzeuge identifiziert. Abgesehen von der Betankung wurden Probleme, die direkt auf die neue Antriebstechnik zurückzuführen sind, als gering eingestuft. Ein Mitarbeiter empfand die Einführung als Vollerfolg, während der andere es vorgezogen hätte, neue Dieselbusse anzuschaffen.

Im Folgenden sind einige qualitativen Antworten zu den Fragen aufgelistet.

- War die zusätzliche Ausbildung sinnvoll oder unnütz?

Die zusätzliche Ausbildung über die neue Technik wurde von beiden Mitarbeitern begrüsst und als hilfreich eingestuft. Der 2-wöchige Weiterbildungskurs (siehe Kapitel 7.2) über die CNG-Technologie wurde als notwendig empfunden.

- Worin liegt der wichtigste Mehraufwand?

Der Bau von Tankanlage einschliesslich aller Sicherheitsvorkehrungen wurde als grösste Ursache für Mehraufwand bezeichnet. Des Weiteren wurde auch die zunehmende Elektronik hinter der neuen Technik als Mehraufwand empfunden, da sich dadurch auch Probleme häufen, die einfach zu lösen wären.

- War der Mehraufwand eine willkommene Abwechslung oder eher verlorene Zeit?

Der eine Mitarbeiter begrüsste den Mehraufwand aus ökologischen Gründen. Der andere Mitarbeiter bezweifelte den ökologischen Vorteil gegenüber den neuesten Dieselbussen, empfand jedoch die Schulung über die neue Technologie als sehr interessant.

- Wie wurde das Tanken empfunden?

Das Betanken der Busse stellte sich eindeutig als Hauptproblem heraus. Allerdings lagen die Probleme überwiegend bei der Tankstelle, nicht bei den Bussen.

- Wie steht es mit der Sicherheit im „Umgang mit Gas“ (Explosionsgefahr etc.)?

In Anbetracht sämtlicher Sicherheitsvorkehrungen wurde die neue Technologie als durchaus sicher und vergleichbar mit konventionellem Dieselantrieb eingestuft.

- Wie wurde die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL im Grossen und Ganzen empfunden?

In der Globalbeurteilung trennen sich die Meinungen. Ein Mitarbeiter würdigte die Einführung als innovative Firmenpolitik, die dem Umweltschutz ein grosses Gewicht zuteilt. Der andere Mitarbeiter stufte die Einführung als fragwürdig ein. Er stellte die ökologischen Vorteile des Gasbusses in Frage.

Fahrbetrieb:

Generell haben alle Fahrer den Mehraufwand als geringfügig eingeschätzt. Die erwähnten Probleme beim Tanken wurden einstimmig als grösster zusätzlicher Aufwand identifiziert. Während alle Mitarbeiter die neue Technik akzeptieren, wurde vereinzelt auch der Sinn der Gasbusse in Frage gestellt. Zwar wurden Bemühungen zum Umweltschutz begrüsst, jedoch wurde der ökologische Vorteil der CNG-Technologie teilweise bezweifelt.

Im Folgenden sind die qualitativen Antworten zu allen Fragen aufgelistet.

- Haben sich Befürchtungen bewahrheitet?

Keiner der Befragten hatte vor der Einführung der Gasbusse Bedenken. Als grösster negativer Umstand wurde einheitlich das Betanken an den provisorischen Tankstellen identifiziert.

- Haben sich positive Erwartungen bewahrheitet?

Positiv wurde vor allem der Innenausstattung und das Fahrgefühl bewertet.

- War die zusätzliche Ausbildung sinnvoll oder unnütz?

Die zusätzliche Ausbildung über die neue Technik wurde von allen Fahrern begrüsst und als hilfreich eingestuft. Vereinzelt wurde mehr Übungszeit gewünscht, um die neue Technologie vor dem Einsatz auf dem Stadtnetz besser kennen zu lernen.

- Wie ist das Fahrgefühl der Gasbusse im Vergleich zu den Dieselbussen?

Das Fahrgefühl wurde einstimmig als sehr angenehm eingestuft. Die Bremssystematik wurde jedoch, im Vergleich zur Bremssystematik der Dieselbusse, als zu sensitiv empfunden.

- Welcher Bus verursacht mehr Lärm, der Diesel- oder der Gasbus?

Der Unterschied zwischen den beiden Bussen wurde als geringfügig empfunden. Einmal wurde jedoch die höhere Frequenz des Motorenlärms des Gasbusses als störender empfunden als beim Dieselbus.

- War das Einhalten des Fahrplans während der Einführung ein grosser Stressfaktor?

Die Probleme mit den automatischen Türen wurden als grösster Stressfaktor eingestuft, da diese häufig zu grösseren Verspätungen führten. Seit diese Probleme jedoch behoben sind, wird zwischen Diesel- und Gasbus kein Unterschied mehr festgestellt.

- Wie steht es mit der Sicherheit im „Umgang mit Gas“ (Explosionsgefahr etc.)?

Keiner der Befragten äusserte Bedenken zur Sicherheit. Die Gastechnologie wird generell als gleich sicher wie die herkömmliche Dieseltechnologie eingestuft.

- Wie wurde die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL im Grossen und Ganzen empfunden?

Die Bemühungen im Bereich Umweltschutz werden von allen Fahrern begrüsst. Insbesondere wird der geringere Schadstoffausstoss der Gasbusse hervorgehoben. Vereinzelt wird jedoch befürchtet, dass der CNG-Bus kleinere Russpartikel als der Dieselbus ausstosse. Ganz kleine Russpartikel, oft auch als Nanopartikel bezeichnet, gelangen wegen ihrer geringen Grösse tief in die Lunge hinein und können entsprechende gesundheitliche Probleme verursachen. Messungen der Anzahl Partikel wie auch der Grössenverteilung zeigen aber keine Hinweise in dieser Richtung.

9.2 AKZEPTANZ BEI FAHRGÄSTEN

Die Akzeptanz der Gasbusse bei den Fahrgästen wurde mittels einer Umfrage untersucht. Hauptziel der Umfrage war, herauszufinden, ob die Fahrgäste einen Unterschied zwischen Gas- und Dieselbus wahrnehmen und ob es sich dabei um eine Verbesserung oder eine Verschlechterung handelt.

Die Umfrage wurde mittels Kundenzeitschrift BERNMOBIL (Fensterplatz, November-2006 Ausgabe) bekannt gemacht. Die Teilnahme an der Umfrage war von November 2006 bis Januar 2007 möglich. Der Zeitpunkt der Umfrage wurde so gewählt, dass bereits ein grosser Anteil der 32 Gasbusse im Einsatz standen (mehrere Linien abgedeckt), und die Klimaanlage der Gasbusse witterungsbedingt keinen Vorteil bedeutete gegenüber den Dieselbussen.

Die Fahrgäste beantworteten Fragen bezüglich:

- Benützung des öffentlichen Verkehrs allgemein und der Gasbusse von BERNMOBIL im Speziellen
- Reisekomfort in den Gasbussen
- Lärmempfinden
- Sicherheitsempfinden
- Luftqualität und Klimaschutz

Mit den im Folgenden aufgelisteten Verteilkanälen wurde angestrebt, ein möglichst breitfächriges Kundenspektrum von BERNMOBIL anzusprechen:

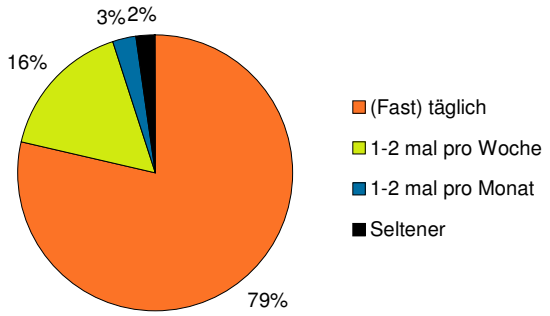
- **Fragebogen (Papier)**: Die Fragebogen wurden an zwei Stichtagen in Bahnhofsnähe verteilt, in den Dispensern der Gasbusse während 8 Wochen aufgelegt, sowie von BERNMOBIL auf direkte Bestellung oder bei Fahrplanbestellungen (Fahrplanwechsel Dezember 2006) verschickt. Der Fragebogen ist im Anhang A3 abgedruckt.
- **Fragebogen (Internet / online)**: Ein Web-Link auf der Fahrplan-Webpage von BERNMOBIL bot die Möglichkeit, den Fragebogen auf elektronischem Weg („online“) auszufüllen.
- **Kurzumfrage**: Mittels Antwortbogen in der Kundenzeitschrift konnten stichwortartige Bemerkungen zu den neuen Gasbussen eingeschickt werden. Die Fragen des Fragebogens wurden hier nicht abgedruckt.

Total wurden knapp 4000 Fragebogen ausgegeben. 1600 davon wurden an Passanten um das Bahnhofareal und vor einem Warenhaus verteilt, 1800 in den Dispensern der Gasbusse aufgelegt und 500 auf Bestellung zugesandt.

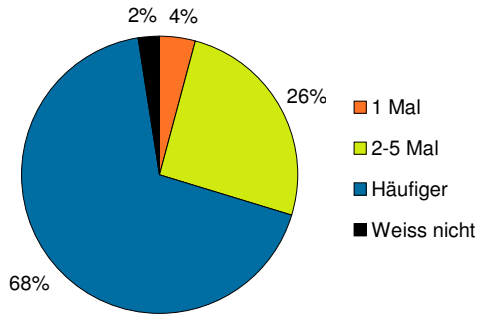
Der Rücklauf der Fragebögen war erfreulich hoch: es gingen über 900 Antworten ein (Fragebogen Papier). Dies entspricht einer Rücklaufquote von 23%. Die hohe Rücklaufquote zeigt deutlich, wie gross das Interesse der BERNMOBIL-Fahrgäste an den Gasbussen ist. Knapp 400 Personen haben ausserdem auf elektronischem Weg an der Umfrage teilgenommen (Fragebogen Internet). Die Umfrage umfasst damit aus den zwei oben genannten Kanälen insgesamt eine Stichprobengrösse von 1284 Antworten. Ein hoher Anteil der Befragten von insgesamt 587 Personen (46%) hat die Gelegenheit genutzt, den Fragebögen weitere Bemerkungen anzufügen (Fragebogen Papier und Internet). Zusätzlich gingen weitere 2000 Antworten von der Kurzumfrage ein. Die letztere Stichprobe zeichnet sich dadurch aus, dass meist Angaben über Alter und Fahrausweis/Abonnement der Fahrgäste vorhanden sind (anonymisiert).

Im Folgenden werden die wichtigsten Resultate der Umfrage mittels Fragebogen (Papier und Internet) aufgezeigt. Details zu den Umfrageresultaten sind in Anhang A4 zu finden. Sofern nicht anders vermerkt, beziehen sich die Resultate auf die Fragebogen-Stichprobe (1284 Personen). Die Auswertung der Kurzumfrage dient (im Sinne einer Ergänzung) dazu – wo vorhanden – auf Strukturunterschiede bezüglich Alter und Fahrausweis der Antwortenden einzugehen.

Umfrageresultate

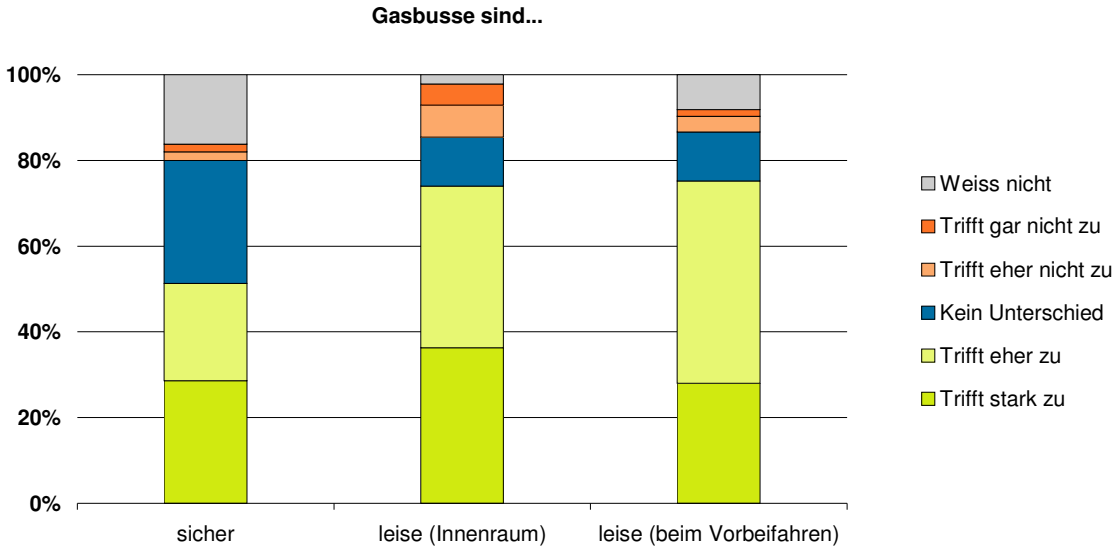


Figur 18: Benützung des öffentlichen Verkehrs (n = 1284)



Figur 19: Benützung der Gasbusse (n = 1145)

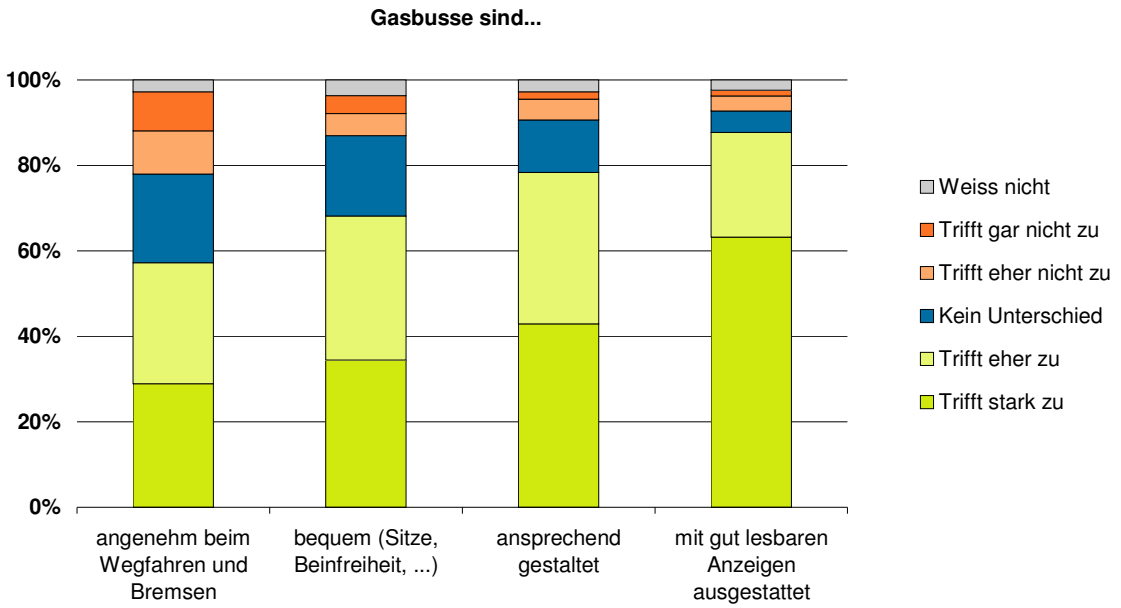
Mehr als 3/4 der Umfrage-TeilnehmerInnen benutzen die öffentlichen Verkehrsmittel von BERNMOBIL (fast) täglich (Figur 18). Nur gerade 5% benutzen den ÖV 1-2 mal pro Monat oder seltener. D.h. mit der Umfrage wurden hauptsächlich regelmässige Fahrgäste von BERNMOBIL erfasst. Der überwiegende Anteil der Umfrage-TeilnehmerInnen (90%) war bereits mehrmals mit einem Gasbus unterwegs (Figur 19). Nur sehr wenige (2%) sind sich nicht sicher, ob sie schon in einem Gasbus gesessen sind. Die Gasbusse sind also durch ihr neues Design und die angebrachten Logos als solche aufgefallen und die Fahrgäste haben diese bewusst wahrgenommen. Personen, welche erst selten mit einem Gasbus unterwegs waren, steigen am liebsten in ein Tram ein, sind also möglicherweise hauptsächlich TrambenutzerInnen.



Figur 20: Aspekte Sicherheit und Lärm der Gasbusse im Vergleich zu Dieselbussen (n = 1130/1130/1261).

Der Aspekt Sicherheit beinhaltet sowohl das Sicherheitsgefühl betreffend der mitgeführten Tankladung als auch das Sicherheitsgefühl betreffend des Fahr- /Bremsverhaltens der Busse. Der grosse Teil der Fahrgäste (80%) fühlt sich in den neuen Gasbussen sicher (*Figur 20*). Die Lärmemissionen des Gasbusses werden unterschiedlich wahrgenommen. Etwas mehr als 70% empfinden den Gasbus als weniger laut als den Dieselbus (*Figur 20*). Davon sind für rund 30% der Fahrgäste die Unterschiede sehr deutlich. Dies trifft sowohl auf das Lärmempfinden im Innenraum des Busses zu, als auch auf die Bus-Lärmemissionen ausserhalb (beim Vorbeifahren). Anwohner von Buslinien und Haltestellen

weisen darauf hin, dass die Lärmimmissionen und Vibrationen der Gasbusse deutlich geringer seien als jene der Dieselbusse (Tabelle 13). Betreffend Lärm im Innenraum des Gasbusses wurde allerdings sehr häufig nach Position unterschieden. Es wurde vermerkt, dass die Busse im vorderen Bereich wohl leiser seien, der Lärmpegel auf den hinteren Sitzen jedoch unangenehm hoch sei (vgl. Tabelle 13).

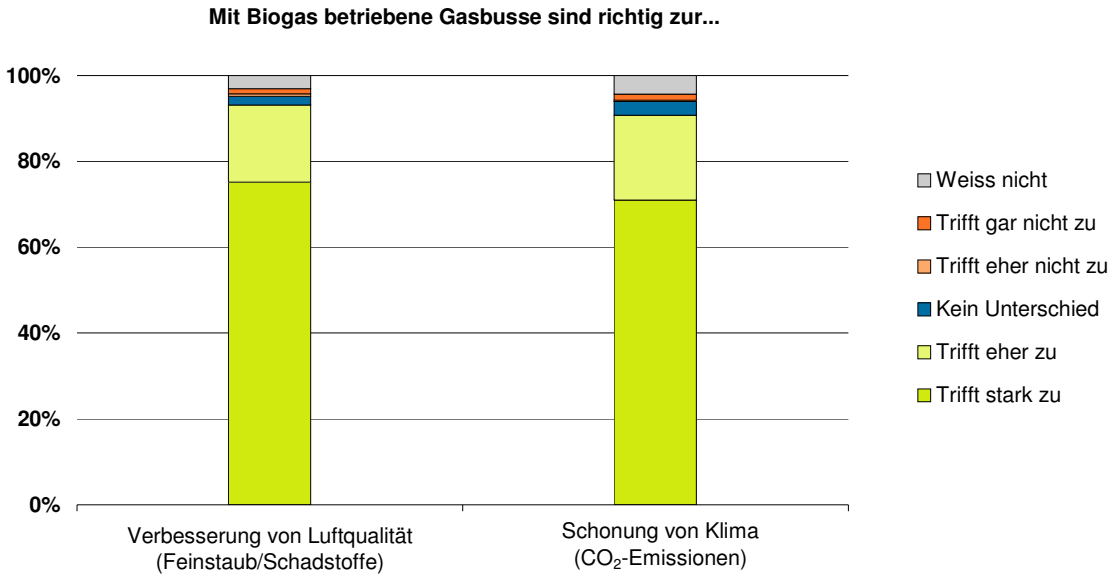


Figur 21: Aspekte Komfort und Design der Gasbusse im Vergleich zu Dieselbussen (n = 1130).

Das Anfahren und Bremsen wird von knapp 80% der Fahrgäste im Gasbus als gleich angenehm oder angenehmer empfunden als im Dieselbus (Figur 21). Auch hier wurde jedoch häufig in den Bemerkungen auf ruppiges Fahren hingewiesen, wobei dies meist dem Fahrstil der Chauffeure zugeschrieben wurde (Tabelle 13).

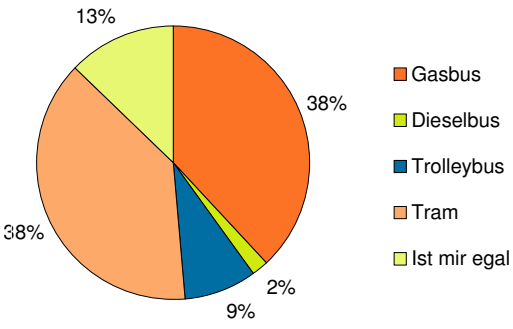
Obwohl generell der Fahrkomfort der neuen Busse geschätzt wird, wurden oft die zu stark erhöhten und zu wenigen Sitze bemängelt. Die Kurzumfrage erlaubt hier Einblick in die Altersstruktur: je 60% der beiden Altersgruppen 40-65 und >65 Jahre bemängeln die Sitzanordnung. Den jüngeren Generationen (Altersklassen <19 und 20-39) ist diesbezüglich kein Unterschied aufgefallen. Positive Bemerkungen zu den grosszügigen Platzverhältnissen wurden über alle Altersklassen angebracht (trotz dem Widerspruch zum Wunsch nach mehr Sitzplätzen).

Das Design der neuen Gasbusse (aussen und innen) wurde von 80% der Fahrgäste gelobt (Figur 21). Nur vereinzelten Personen gefallen die älteren Busse besser. Die Gasbusse wurden mit neuen Anzeige-Monitoren ausgestattet, auf welchen jeweils die nächsten Haltestellen eingeblendet werden. Fast 90% der Fahrgäste finden die neuen Anzeigen gut lesbar und hilfreich. Bemängelt wurden teilweise die relativ grosse Ausfallrate der Anzeigen (Software-Problem) sowie die zu kleine Schriftgrösse. Es wurde auch erwähnt, dass das in der Anzeige integrierte „STOP"-Signet („der Wagen hält an") kaum sichtbar sei (vgl. Tabelle 13).



Figur 22: Aspekte Luftqualität und Schonung des Klimas (n = 1255).

Sehr deutlich fallen die Meinungen aus bezüglich Umweltschutz. Die überwiegende Mehrheit (95%) der Umfrage-TeilnehmerInnen begrüsst diesbezüglich den Einsatz von BERNMOBIL, mit Biogas betriebene Gasbusse einzusetzen. Die Fahrgäste sind überzeugt, dass der Ersatz der Dieselbusse mit „Bio-"Gasbussen die Luftqualität von Bern verbessert und mittels CO_2-Senkung zur Schonung des Klimas beiträgt (*Figur 22*). Die Unterstützung der Fahrgäste ist gross, wie zahlreiche zusätzlich beigefügte Bemerkungen zeigen (vgl. Tabelle 13 und Anhang A4), sowohl unter den regelmässigen Fahrgästen als auch bei Personen, welche öffentliche Verkehrsmittel selten benutzen. Einige Personen (meist Fahrrad-FahrerInnen) fügen an, dass die Luftqualität neben/hinter den Gasbussen spürbar besser sei als bei Dieselbussen. Einige Fahrgäste zeigten sich auch sensibel bezüglich dem Stichwort „Biogas" und erwarten von BERNMOBIL, dass Biogas und nicht Erdgas als Treibstoff eingesetzt wird. Es ist ein gewisser Stolz spürbar, dass Bern in dieser Sache eine Vorreiterrolle übernommen hat und damit als Vorbild für andere Städte dienen kann. Es können hier allerdings keine Aussagen gemacht werden, inwieweit MIV-Benützer (z.B. Personen, welche meist mit eigenem Personenwagen unterwegs sind) die Gasbus-Einführung unterstützen. (Diese Gruppe wurde mit der Umfrage anteilmässig nicht repräsentativ erreicht).



Figur 23: Beliebtestes Verkehrsmittel der BERNMOBIL-Kunden (n = 1255).

Bei der Frage nach dem beliebtesten Verkehrsmittel (ausschliesslich ÖV) zeigt sich der Gasbus trotz der erst kurzen Einsatzzeit und den zum Zeitpunkt der Umfrage noch vorkommenden „Kinderkrankhei-

ten“ sehr hoch auf der Beliebtheitsskala: bei freier Wahl (unabhängig von Verfügbarkeit/Haltestelle etc.) steigen gut 40% der Fahrgäste am liebsten in einen Gasbus ein (*Figur 23*). Ebenso beliebt ist das Tram als Verkehrsmittel (40%). Erst deutlich weiter hinten folgen Trolley- und Dieselbus. Diejenigen Personen, die am liebsten in einen Dieselbus steigen, empfinden den Gasbus als zu laut (Innenraum: 40%, beim Vorbeifahren: 24%) und weniger komfortabel (44%) als einen Dieselbus. Ebenso wird von diesen Personen der Beitrag zu Luftqualität und Klimaschonung durch den Einsatz von Gasbussen als weniger deutlich empfunden.

Die Annahme, dass sich die Antworten aus Papier- und Online-Umfrage aufgrund verschiedener Teilnehmerkategorien unterscheiden würden, konnte nicht generell bestätigt werden. Die Online-TeilnehmerInnen gehören zwar zu den weniger regelmässigen Fahrgästen und waren dementsprechend zum Zeitpunkt der Umfrage noch weniger häufig mit einem Gasbus unterwegs, Ihre Meinung unterschied sich aber nur in wenigen Punkten von derjenigen der Papier-TeilnehmerInnen (vgl. Anhang A4). Online-TeilnehmerInnen haben etwas häufiger „keinen Unterschied“ Gasbus/Dieselbus festgestellt. Der deutlichste Unterschied der beiden Stichproben schlug sich im beliebtesten Verkehrsmittel nieder: 45% der Online-TeilnehmerInnen steigen am liebsten in ein Tram ein (und 28% in einen Gasbus), währenddem 42% der Papier-TeilnehmerInnen am liebsten einen Gasbus benützen (36% das Tram). Da die Papier-TeilnehmerInnen statistisch gesehen bereits häufiger mit einem Gasbus gefahren sind, spricht dies durchaus für die Beliebtheit der Gasbusse.

Tabelle 13: Zusammenfassung der zusätzlichen Bemerkungen auf den Fragebögen. Die Bemerkungen beziehen sich spezifisch auf den Gasbus (Gas-Antrieb) oder auf das neue Busmodell (Design und Technik unabhängig vom Gas-Antrieb).

Weitere Bemerkungen Umfrage Gasbus			
Gasbus	**Neues Busmodell**	**Bemerkung**	**Anzahl**
+		Grosse Begeisterung für den Einsatz von Gasbussen bei BERNMOBIL (generell)	175
	+	Verständnis für „Kinderkrankheiten“ der Gasbusse (mit der Hoffnung, dass diesbezügliche Probleme in nützlicher Frist behoben werden können)	21
+		Verbesserung der Luftqualität	49
+		Einsatz für Klimaschutz	37
	+	Klimaanlage	14
+		Vorbild-Funktion, die BERNMOBIL mit der Einführung der Gasbusse einnimmt	8
+		Weniger Lärm und Vibrationen von Gasbus als von Dieselbus (Anwohner einer Bushaltestelle oder Buslinie)	7
+		Velofahrer bemerken, dass Fahrrad-Fahren hinter einem Gasbus betreffend Luftqualität spürbar angenehmer ist	7
+/-		Fahren Gasbusse wirklich mit Biogas?	9
-		Gasgeruch im und um den Bus	10
	-	Warnton der Türen unangenehm und zu laut	11
-		Laut im hinteren Teil des Gasbusses (Innenraum)	16
	+/-	Anzeigen generell hilfreich, jedoch Schrift zu klein. „STOP“-Signal (bzw. „der Bus hält an“) nur schlecht sichtbar	16
	-	Fahrplan kann nicht eingehalten werden (durch Türstörungen entstandene Verspätungen)	29
	-	Sitzgestaltung: zu wenig und zu hoch positionierte Sitze. Rückwärts-Fahren unbeliebt	57
-	-	Fahrstil des Busfahrers hat grossen Einfluss auf den Fahrtkomfort. Ruppiges Bremsen und Anfahren wird bemängelt	73
	-	Häufige Türprobleme (in der Zwischenzeit behoben)	89

Die den Fragebögen angefügten Bemerkungen wurden separat ausgewertet. Es zeigte sich, dass sich kritische Stimmen und positive Anmerkungen mengenmässig in etwa die Waage halten. Tabelle 13 zeigt eine kategorisierte Zusammenfassung dieser Bemerkungen. Einige wenige exemplarische Antworten sind zudem im Anhang A5 wiedergegeben. Vielen Fahrgästen sind die anfangs noch häufigen Türstörungen und die dadurch entstandenen Verspätungen aufgefallen. D.h. es wurden vor allem Mängel hervorgehoben, die sich nicht auf den Antrieb der Busse beziehen, sondern auf die neuen Busmodelle allgemein (dieselben Mängel hätten evtl. auch bei einem neuen Dieselbus beobachtet werden können).

Ausser den oben erwähnten Punkten unterscheiden sich die Antworten zur Kurzumfrage kaum, wenn zwischen Personen mit bzw. ohne ÖV-Abonnemente unterschieden wird. Auch zeigen sich kaum Unterschiede, wenn die Antworten in Altersklassen gruppiert werden.

10. Schlussfolgerungen

Anhand der durchgeführten Untersuchungen können folgende Schlussfolgerungen über die Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL gezogen werden:

- Das grösste Risiko während der Einführungsphase der Gasbusse bei BERNMOBIL war der Betrieb der Gasbetankungsanlage. Der Bau einer Gasbetankungsanlage stellte sich als ein komplexes Projekt heraus, welches einer ausführlichen Projektführung bedarf. Viele Probleme während der ersten 12 Monate der Einführung hätten durch eine effiziente Projektführung vermieden werden können. Da viele Komponenten der Anlage neu entwickelt werden mussten, bedarf es einer Leitstelle, die die Kommunikation zwischen den verschiedenen Herstellern vereinfacht und die Kompatibilität der einzelnen Komponenten der Anlage überprüft.
- Eine gewisse Redundanz an Betankungsmöglichkeiten ist für die Aufrechterhaltung des Busbetriebs absolut notwendig. BERNMOBIL hat für die 45 Gasbusse 53 Langsambetankungsplätze und 2 Schnellbetankungsplätze im Busdepot installiert. 3 Hochdruck-Kompressoren komprimieren das Gas von 5 bar auf 250 bar. Für Störfälle steht zudem eine etwa 2 km entfernte Ausweichtankstelle im Sandrain-Quartier zur Verfügung.
- Die Errichtung der CNG-Betankungsanlage in einem Wohngebiet erwies sich als nachteilig. Durch den Standort in einem Wohngebiet mussten zusätzliche Sicherheitsmassnahmen erfüllt werden. Als hindernisreich erwies sich, dass die Kompetenzen der Bewilligungserteilung nicht vorweg klar geregelt waren.
- Trotz grösseren Störfällen (Auswechslung der Zylinderköpfe, Ausfall der Gastankstelle) und zahlreichen kleineren technischen Problemen bei den Bussen war der Busbetrieb zu keinem Zeitpunkt gefährdet. Die meisten Störungen der Gasbusse konnten durch den Einsatz von altem Rollmaterial (Dieselbusse) kompensiert werden.
- Lediglich rund 15% der Störfälle bei den neuen Gasbussen waren auf die Gas-Antriebstechnik zurückzuführen. Der überwiegende Teil der Störfälle (namentlich die Probleme mit den Türen) hätten auch bei einem herkömmlichen Dieselbus auftreten können.
- Erfahrungswerte aus anderen Verkehrsbetrieben zeigen, dass Gasbusse typischerweise 20 bis 30% mehr Energie verbrauchen als Dieselbusse. Bei den Gasbussen von BERNMOBIL liegt mittlere Energieverbrauch rund 30 bis 35% über dem der Dieselbusse.
- Genügend Biogas für den gesamten CNG-Busbetrieb kann in der ARA Bern in einer *win-win* Situation aus organischem Substrat hergestellt werden (Lebensmittelhersteller entledigen sich ihres Abfalls, die Ara Bern produziert damit wertvolles Biogas). Die dabei entstehenden Emissionen sind im Vergleich zum Busbetrieb vernachlässigbar. Falls die Busse mit Biogas betrieben werden, entfallen die CO_2-Emissionen während der Fahrt der Busse. Dadurch kann der jährliche CO_2-Ausstoss um zirka 2000 Tonnen gesenkt werden.
- Die NOx-Emissionen der Gasbusse belaufen sich auf gut 10% der NOx-Emissionen der herkömmlichen Dieselbusse (EURO 3). Zudem stossen die Gasbusse nur etwa 4% der Partikel-Emissionen der Dieselbusse aus. Damit leisten die Gasbusse eine starke Entlastung bei den lufthygienischen Problemschadstoffen. Konzeptbedingt liegen die CO- und HC- Emissionen höher als bei Dieselbussen, absolut betrachtet fallen sie aber wenig ins Gewicht und liegen auch deutlich unter den neuesten Grenzwerten. Allerdings hat sich die Dieseltechnologie in den letzten Jahren auch weiterentwickelt. Neue EURO 5 Dieselbusse produzieren deutlich weniger NOx und Partikel-Emissionen als EURO 3 Dieselbusse. Ob die guten Emissionswerte der Gasbusse auch langfristig gültig sind, kann hier nicht beurteilt werden. Nur mittels periodischer Nachmessungen könnten belastbare Antworten zur Frage des Alterungsverhaltens geliefert werden.
- Auf Seiten der Immissionen können bisher keine messbaren Auswirkungen des CNG-Busbetriebs festgestellt werden. In Anbetracht der geringeren Emissionen der Gasbusse ist jedoch aus lufthygienischen Gründen die Einführung der Gasbusse positiv zu werten.

- Ein CNG-Busbetrieb ist ohne grösseren betrieblichen Mehraufwand möglich. Das Hauptproblem während der Einführung von Gasbussen bei BERNMOBIL war der vorübergehende Ausfall der Gastankstelle. Der Ausfall führte monatlich zu zirka 4000 km Leerfahrten, um die Busse an einer Ausweichstankstelle zu betanken.
- Die finanziellen Rahmenbedingungen waren nicht unerheblich für den Entscheid zur Einführung von Gasbussen in Bern. BERNMOBIL ging von der Maxime der Kostenneutralität aus (Gasbusse im Vergleich zu konventionellen Dieselbussen). Durch den Einbezug mehrerer Akteure konnten die Mehraufwendungen auf verschiedene Partner aufgeteilt werden. So finanzierte der GVM Mittelland die Mehrpreis der Fahrzeuge, ewb übernahm die Erstellung und Betrieb der Gasbetankungsanlage, wobei hier der Ökofonds der Stadt Bern einen namhaften Beitrag leistete. Kostenneutral für BERNMOBIL sind auch die Energiekosten, wobei positiv ins Gewicht fällt, dass Biogas seit 1. Juli 2008 von der Mineralölsteuer befreit ist.
- Die Akzeptanz der neuen Gasbusse ist sowohl innerbetrieblich als auch bei den Fahrgästen sehr gross. Insbesondere wird der ökologische Vorteil der Gasbusse geschätzt. Vereinzelt wurde jedoch auch die Umweltfreundlichkeit der Gasbusse in Frage gestellt. Durch eine gute Kommunikation der positiven Messergebnisse könnte man solchen Zweifeln begegnen.

11. Referenzen

Ambühl, D. and J. Fernandez 2003. Erdgasbusprojekt, ETH Zürich, Bundesamt für Energie, Bern.

AraBern 2006. Umweltbericht 2006, Herrenschwanden, http://www.ara-bern.ch/.

AVL 2006. Emissions Test Instruments, AVL LIST GMBH, Graz, http://www.avl.com.

BFE 2001. Biogene Güter in der Schweiz, Bundesamt für Energie, Bern.

EU 2005. Directive 2005/55/EC of the European Parliament and of the Council of 28 September 2005, European Parliament, Brussel.

ewb 2006. Erdgastankstelle BERNMOBIL - Sicherheitsbericht (Störfallnachweis), Energie Wasser Bern, Bern.

Faist-Emmenegger, M., T. Heck, N. Jungbluth and M. Tuchschmid 2007. Erdgas. In: Dones, R. (Ed.) et al., Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Final report ecoinvent No. 6-V, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Villigen.

Frischknecht, R., R. Steiner and N. Jungbluth 2008. Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Report No. SR 28/2008, Öbu – Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften, Bundesamt für Umwelt, Zürich.

Frischknecht, R., M. Tuchschmid, M. Faist-Emmeneger, C. Bauer and R. Dones 2007. Strommix und Stromnetz. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). ecoinvent report No. 6, v2.0., Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

FVT 2006. Emission and fuel consumption of clean city bus concepts, Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Technische Universität Graz, Graz.

FVT 2008. Emissionen von CNG EEV Bussen der Stadt Bern, Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Technische Universität Graz, Graz.

Hess 2006. Entwicklung Trolleybus-Generation SWISSTROLLEY 3, unterstützt durch BFE, Schlussbericht, Bellach 23.4.2006

Hofer, M. 2007. Untersuchungsbericht Erdgas-Analyse, Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle, Bern.

Infras 2004. Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1, Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Infras 2005. Gas- oder Dieselbusse? Ergänzende Grundlage für den Beschaffungsentscheid von BERNMOBIL, Bern.

Infras 2006a. Feldversuch Gasbus - BVB, Bern.

Infras 2006b. Umweltbilanz RBS - Umweltbelastungen des Bahn- und Busbetriebs, Infras AG, Zürich, www.infras.ch.

Infras 2008. Systementscheid Antriebskonzept Grundlagenbericht -SBW Stadtbus Winterthur, Infras AG, Bern.

Jungbluth, N. 2007. Erdöl. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.). ecoinvent report No. 6-IV, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

Jungbluth, N., M. Chudacoff, A. Dauriat, F. Dinkel, G. Doka, M. Faist-Emmenegger, E. Gnansounou, N. Kljun, K. Schleiss, M. Spielmann, C. Stettler and J. Sutter 2007. Life cycle inventories of bioenergy. ecoinvent report No. 17, Swiss centre for life cycle inventories, Dübendorf.

Kapdi, S. S., V. K. Vijay, S. K. Rajesh and R. Prasad, 2004. Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. Renewable Energy **30**: 1195-1202, doi:10.1016/j.renene.2004.09.012.

Kohli, B. 2008. Jahresbericht - Luftimmissionen, Stadtlabor Bern, Bern.

Maurer, P., 2007. Erfahrungsbericht zur Einführung der CNG-Busse. BERNMOBIL, Bern.

Niederhäusern, A., 2006. Biogas aus der ARA am kostengünstigsten. Erneuerbare Energien: 12-14.

NYCT, 2000. NYCT Clean fuel bus programs, WMATA alternative fuels workshop. New York City Transit.

Nylund, N. O., K. Erkkilä, M. Lappi and M. Ikonen 2004. Transit bus emission study: compairison of emissions from diesel and natural das buses, VTT Processes, Finland.

Trefzerrosa 2004. Bericht über die Lärmemissionsmessungen am MAN 2-Achser-Gasbus und am MAN 2-Achser-Dieselbus, Trefzer Rosa + Partner GMBH, Nusshof, http://www.trefzerrosa.ch/.

Trefzerrosa 2006. Bericht über die Lärmemissionsmessungen am VOLVO Gasbus in Basel 2006 und Vergleich mit MAN 2-Achser Gasbus 2004, Trefzer Rosa + Partner GMBH, Nusshof, http://www.trefzerrosa.ch/.

UITP 2004a. Clean fuels for road public transport, International association of public transport, Brussel, www.uitp.com.

UITP 2004b. SORT - Standardised on-road tests cycles for buses, International association of public transport, Brussel, http://www.uitp.com/.

Anhang

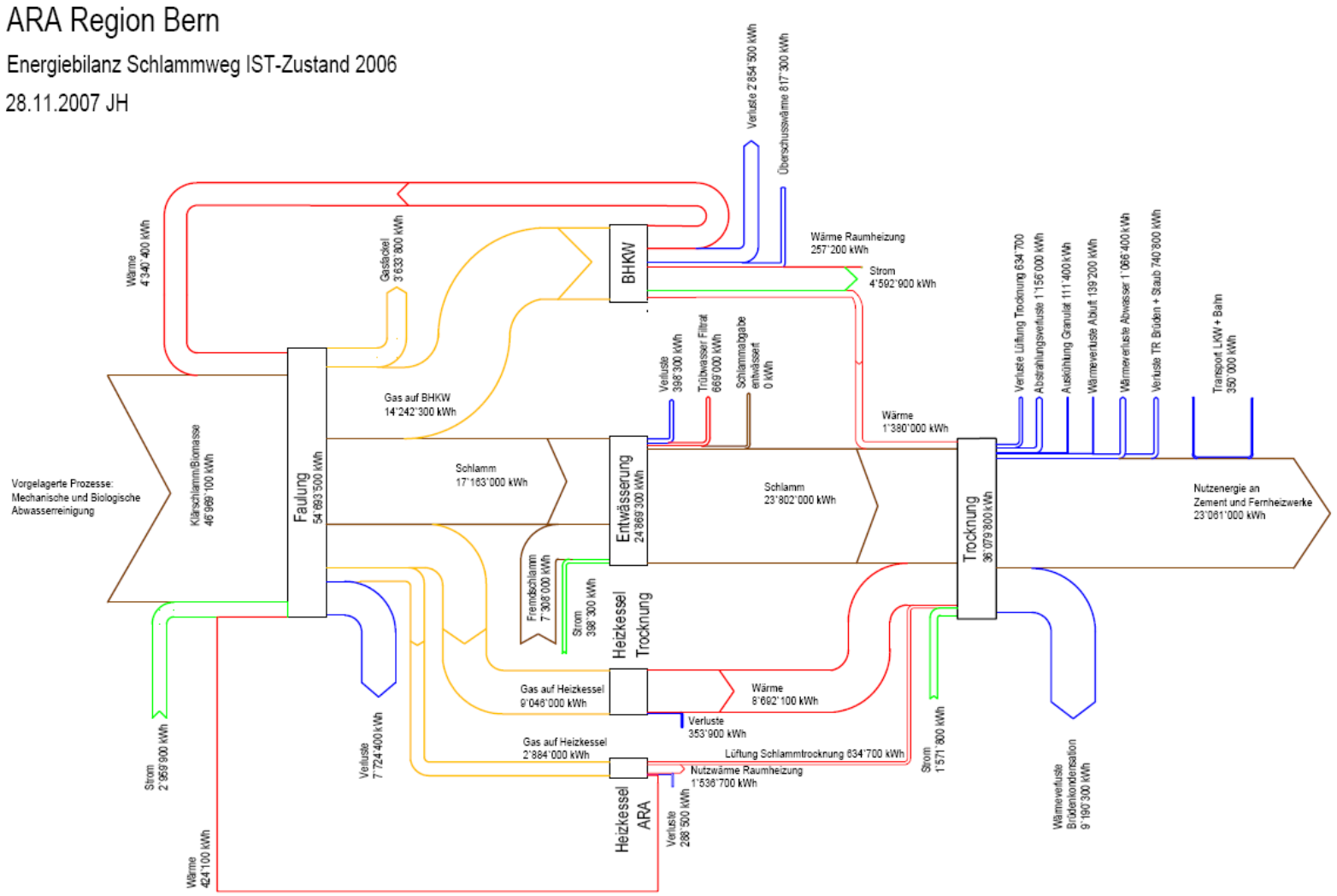
A1 HÄUFIGKEIT DER STÖRFÄLLE WÄHREND DER EINFÜHRUNG DER NEUEN GASBUSSE BEI BERNMOBIL

Bezeichnung der Störung	Häufigste Ursachen[1)]	Häufigkeit	Ursache bei VOL-VO
Türen	Türe schliesst nicht	486	364
Fahrgastinf. sys. / Zielanzeige RBL Funk	Diverses	300	84
Karosserie, Karosseriegerippe, Faltenbalg	Beschädigungen, Divers	211	68
Instrumentierung	Software Probleme, Divers	191	144
Heizung, Lüftung, Klimaanlage, Dachluke	Funktioniert nicht	173	151
Wagenausrüstung	Diverses	163	36
Rad-/ Scheiben-/ Haltebremsen	Funktioniert nicht	154	142
Motorregelung	Motorsteuerung geht nicht	149	131
Wartung	Reinigung	135	3
Beleuchtung	Lampe kaputt	134	72
Getriebe, Kupplung, Retarder	Diverses	129	120
Motormechanik / Fahrmotor	Generelle Überprüfung	115	101
Kühlanlage	Wasserverlust	111	101
Batterie	oft schwach	99	59
Kraftstoffsystem	Kann nicht voll betankt werden	92	44
Einlass- / Abgassys. inkl. Partikelfilt.	Drosselklappe einstellen	89	82
Marketing	Werbung erneuern	82	0
Unfall	Kleine Karosserieschäden	76	0
Schmiersystem	Modifikation Ölmessstab	72	50
Sonstiges Karosserie, Innenausstattung	Diverses	64	3
Sonstiges elektr. Ausrüstung	Diverses	61	27
Betrieb	Reservationen für Vorführungen	53	24
Rahmengelenk/Wagenkastengelenk	Gelenkauflagescheibe	50	49
Reifen, Pneu	Reifen ersetzen	42	3
Fahrelektronik	Diverses	35	27
Fahrgastinformationssystem	Diverses	35	1
Druckluftanlage, ABS/ASR	Luftverlust, diverses	34	29
Innenverkleidung, Boden, Sitze	Diverses	27	1
Motor	Diverses	22	17
Chauffeursitz	Lässt sich nicht einstellen	17	5
Heizung, Lüftung	Funktioniert nicht	17	13
Technik	Reservationen für Volvo	16	4
Vandalen	Scheiben zerkratzt, Graffiti	16	0
Räder, Naben, Spurkranzschmierung	Raddeckel lose	15	4
Verglasung, Zierlisten	Kratzer im Glas	15	3
Einlass- u. Abgassystem, Partikelfilter	Prüfung des Turboladers	12	12
Spiegel	Spiegel defekt	12	2
Federung	Austausch des Luftschlauchs	11	0
Anlasser	Knopf defekt, Diverses	9	5
Lenkung inkl. Servoausrüstung	Lenkung geht schwer	9	6
Wischeranlage	Scheibenwischer geht nicht	9	4
Sonstiges Motor	Schwache Leistung	8	8
Frontpartie, Radkasten, Trittstufe, Fender	Kleine Kratzer	5	2
Radbremsen, Haltebremse	Diverses	5	4

Bezeichnung der Störung	Häufigste Ursachen[1)]	Häufigkeit	Ursache bei VOL-VO
Rahmen/Wagenkasten	Wassereintritt	5	4
Retarder / Telma	Retarder schlecht dosierbar	5	5
Zielanzeige	Transparent fehlt	5	2
Federung, Luftfederung	Kneeling geht nicht	4	2
Hydraulische Bremsanlage	Retarder geht nicht	4	3
Sonstiges Bremssystem	Prüfung der Handbremse	4	1
Wagenkupplung	Gelenkauflage kontrollieren	4	4
Druckluftanlage, ABS / ASR	Luftverlust	3	2
Fehlmanipulation	Diverses	3	0
Schienenbremse	Prüfung der Bremsen	3	2
Alternator / Bordnetzumrichter	Batterielampe leuchtet	2	2
Luftfederung	Schlägt bei Unebenheiten auf	2	2
Räder	Räder wechseln	2	0
Rampe	Rampenwunsch defekt	2	2
Scheibenbremsen	Quietschgeräusche	2	0
Sitze	Verliert Luft	2	1
Achsen	Schleifgeräusch	1	1
Innenverkleidung	Plakathalter montieren	1	0
Naben, Achsen, Radlager	Quietschgeräusche	1	0
Personal (Fs)	Keine Angabe	1	0
Sonstiges Radaufhängung, Lenkung	Quietschgeräusche	1	0
Vorderradaufhängung	Macht Lärm	1	1

1) Die häufigsten Stichworte, welche als Fehler gemeldet wurden.

A2 ENERGIEBILANZ DER ARA BERN



Figur A3: Energiebilanz der ARA Bern für das Jahr 2006 (ohne Biogasproduktion). Für das Jahr 2008 ist eine Verdoppelung der Biomassenzufuhr und der Biogasproduktion vorgesehen. Datenquelle: ARA Bern.

A3 MEINUNGS-UMFRAGE ZU DEN GASBUSSEN VON BERNMOBIL

Interne Frageliste (Personal)

- Haben sich Befürchtungen bewahrheitet?
- Haben sich positive Erwartungen bewahrheitet?
- War die zusätzliche Ausbildung sinnvoll oder unnütz?
- Wo liegt wichtigster Mehraufwand?
- Mehraufwand / Abwechslung gern gesehen?
- Tanken
- Schulung der Fahrer: Zweckmässigkeit / Änderungsvorschläge
- Fahrgefühl
- Lärm (lauter, leiser, anders / innen, aussen)
- Fahrplan einhaltbar / Stressfaktor?
- Sicherheit / Angst „Umgang mit Gas“ (Explosionsgefahr etc.)
- Generell: BERNMOBIL & Luftreinhaltung / Klima
- Gasbus = gute Sache?

Umfrage bei den Fahrgästen von BERNMOBIL

1) Wie häufig nutzen Sie den öffentlichen Verkehr?

☐ (Fast) täglich ☐ 1-2 Mal pro Woche ☐ 1-2 Mal pro Monat ☐ seltener

2) Sind Sie schon mit einem der neuen Gasbusse von BERNMOBIL gefahren?

☐ Ja (weiter mit Frage 3) ☐ nein (weiter mit Frage 5) ☐ weiss nicht (weiter mit Frage 5)

3) Wie häufig sind Sie bereits mit den neuen Gasbussen gefahren?

☐ 1 Mal ☐ 2-5 Mal ☐ häufiger ☐ weiss nicht

4) Wie zutreffend sind für Sie die folgenden Aussagen?

Gasbusse sind…	**trifft stark zu**	**trifft eher zu**	**kein Unterschied**	**triff eher nicht zu**	**trifft gar nicht zu**	**weiss nicht**
sicher	☐	☐	☐	☐	☐	☐
leise (Innenraum)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
angenehm beim Wegfahren und Bremsen	☐	☐	☐	☐	☐	☐
bequem (Sitzkomfort...)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ansprechend gestaltet	☐	☐	☐	☐	☐	☐

5) Wie empfinden Sie vorbeifahrende Gasbusse im Vergleich zu Dieselbussen?

☐ Viel leiser ☐ eher leiser ☐ kein Unterschied ☐ eher lauter ☐ viel lauter ☐ weiss nicht

6) Halten Sie den Entscheid von BERNMOBIL, Gasbusse einzusetzen und mit Biogas zu betreiben als

richtig zur Verbesserung / Schonung von...	**trifft stark zu**	**trifft eher zu**	**kein Unterschied**	**triff eher nicht zu**	**trifft gar nicht zu**	**weiss nicht**
Luftqualität (Luftschadstoffe)	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Klima (CO2-Emissionen)	☐	☐	☐	☐	☐	☐

7) Falls Sie wählen könnten, wo würden Sie lieber einsteigen?

☐ Gasbus ☐ Dieselbus ☐ Trolleybus ☐ Tram ☐ ist mir egal

8) Haben Sie weitere Bemerkungen zum Einsatz von Gasbussen in Bern?

.....

.....

.....

Bitte zukleben und zurückschicken. Besten Dank für Ihre Mithilfe!

Bei Fragen: BERNMOBIL infocenter am Bubenbergplatz, Tel. 031 321 88 44, kundendienst@bernmobil.ch

A4 ANTWORTEN MEINUNGS-UMFRAGE ZU DEN GASBUSSEN VON BERNMOBIL

***Tabelle 14**: Frage 1 Gasbus-Umfrage.*

Frage 1: Wie häufig nutzen Sie den öffentlichen Verkehr?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
(Fast) täglich	722	287	1009	80	75	79
1-2 mal pro Woche	153	58	211	17	15	16
1-2 mal pro Monat	21	16	37	2	4	3
Seltener	6	21	27	1	5	2
Total	902	382	1284	100	100	100

***Tabelle 15**: Frage 2 Gasbus-Umfrage.*

Frage 2: Sind Sie schon mit einem der neuen Gasbusse von BERNMOBIL gefahren?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
Ja	827	321	1148	92	85	90
Nein	44	50	94	5	13	7
Weiss nicht	31	8	39	3	2	3
Total	902	379	1281	100	100	100

***Tabelle 16**: Frage 3 Gasbus-Umfrage.*

Frage 3: Wie häufig sind Sie bereits mit den neuen Gasbussen gefahren?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
1 Mal	31	16	47	4	5	4
2-5 Mal	188	106	294	23	33	26
Häufiger	585	191	776	71	60	68
Weiss nicht	23	5	28	3	2	2
Total	827	318	1145	100	100	100

***Tabelle 17**: Frage 4 Gasbus-Umfrage.*

Frage 4: Wie zutreffend sind für sie die folgenden Aussagen?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
Gasbusse sind sicher						
Trifft stark zu	239	84	323	29	28	29
Trifft eher zu	189	68	257	23	22	23
Kein Unterschied	223	101	324	27	33	29
Trifft eher nicht zu	19	4	23	2	1	2
Trifft gar nicht zu	6	14	20	1	5	2
Weiss nicht	151	32	183	18	11	16
Gasbusse sind leise (Innenraum)						
Trifft stark zu	317	93	410	38	31	36
Trifft eher zu	306	121	427	37	40	38
Kein Unterschied	91	38	129	11	13	11
Trifft eher nicht zu	60	24	84	7	8	7
Trifft gar nicht zu	32	24	56	4	8	5
Weiss nicht	21	3	24	3	1	2
Gasbusse sind angenehm bei Wegfahren und Bremsen						
Trifft stark zu	242	85	327	29	28	29
Trifft eher zu	233	86	319	28	28	28
Kein Unterschied	162	73	235	20	24	21
Trifft eher nicht zu	93	21	114	11	7	10
Trifft gar nicht zu	71	33	104	9	11	9
Weiss nicht	26	5	31	3	2	3
Gasbusse sind bequem (Sitze, Beinfreiheit, ...)						
Trifft stark zu	298	91	389	36	30	34
Trifft eher zu	284	97	381	34	32	34
Kein Unterschied	140	73	213	17	24	19
Trifft eher nicht zu	43	15	58	5	5	5
Trifft gar nicht zu	27	21	48	3	7	4
Weiss nicht	35	6	41	4	2	4
Gasbusse sind ansprechend gestaltet						
Trifft stark zu	356	129	485	43	43	43
Trifft eher zu	295	105	400	36	35	35
Kein Unterschied	102	38	140	12	13	12
Trifft eher nicht zu	39	15	54	5	5	5
Trifft gar nicht zu	11	9	20	1	3	2
Weiss nicht	24	7	31	3	2	3
Gasbusse sind mit gut lesbaren Anzeigen ausgestattet						
Trifft stark zu	546	168	714	66	55	63
Trifft eher zu	204	74	278	25	24	25
Kein Unterschied	32	24	56	4	8	5
Trifft eher nicht zu	19	21	40	2	7	4
Trifft gar nicht zu	6	9	15	1	3	1
Weiss nicht	20	7	27	2	2	2
Total	827	303	1130	100	100	100

***Tabelle 18**: Frage 5 Gasbus-Umfrage.*

Frage 5: Wie empfinden Sie vorbeifahrende Gasbusse im Vergleich zu Dieselbussen?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
Viel leiser	266	87	353	30	24	28
Eher leiser	412	184	596	46	51	47
kein Unterschied	99	44	143	11	12	11
Eher lauter	31	16	47	3	4	4
Viel lauter	13	7	20	1	2	2
Weiss nicht	80	22	102	9	6	8
Total	901	360	1261	100	100	100

***Tabelle 19**: Frage 6 Gasbus-Umfrage.*

Frage 6: Halten Sie den Entscheid von BERNMOBIL, Gasbusse einzusetzen und mit Biogas zu betreiben als...						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
richtig zur Verbesserung / Schonung von Luftqualität (Feinstaub/Schadstoffe)						
Trifft stark zu	690	253	943	77	71	75
Trifft eher zu	156	70	226	17	20	18
Kein Unterschied	11	14	25	1	4	2
Trifft eher nicht zu	6	2	8	1	1	1
Trifft gar nicht zu	5	9	14	1	3	1
Weiss nicht	32	7	39	4	2	3
richtig zur Verbesserung / Schonung von Klima (CO2-Emissionen usw.)						
Trifft stark zu	648	243	891	72	68	71
Trifft eher zu	178	70	248	20	20	20
Kein Unterschied	21	19	40	2	5	3
Trifft eher nicht zu	0	4	4	0	1	0
Trifft gar nicht zu	6	11	17	1	3	1
Weiss nicht	47	8	55	5	2	4
Total	900	355	1255	100	100	100

***Tabelle 20 Tabelle * ARABIC \17}**: Frage 7 Gasbus-Umfrage.*

Frage 7: Falls Sie wählen könnten, wo würden Sie am liebsten einsteigen?						
	Papier [Anzahl]	Online [Anzahl]	Total [Anzahl]	Papier [%]	Online [%]	Total [%]
Gasbus	380	98	478	42	28	38
Dieselbus	16	9	25	2	3	2
Trolleybus	60	47	107	7	13	9
Tram	326	158	484	36	45	39
Ist mir egal	118	43	161	13	12	13
Total	900	355	1255	100	100	100

A5 EXEMPLARISCHE BEISPIELE BEMERKUNGEN MEINUNGS-UMFRAGE

Die folgenden Bemerkungen wurden willkürlich ausgewählt und haben keinen Anspruch auf Repräsentativität der ganzen Stichprobe.

- Die Gasbusse sind sehr leise ich freue mich auch immer wenn ich in einen Gasbus einsteigen kann. Das neue System mit den Türen finde ich gut auch wenn es manchmal Probleme gibt. Es gibt bei jedem Zeug auch kleinere Kinderkrankheiten.
- Meiner Meinung nach finde ich den Entscheid von BERNMOBIL, in einem breiten Rahmen Gasbusse einzusetzen, sehr positiv und nachhaltig. BERNMOBIL hat hier sicher ein Zeichen gesetzt! Die Gasbusse überzeugen nicht nur durch ihre Qualität, sondern auch durch ihr Design (mit Ausnahme der roten Dachpartie). Mit Kinderkrankheiten ist immer zu rechnen und ich bin davon überzeugt, dass diese bald behoben sind.
- Eine Supersache, bitte weiter machen und ich fahr nur noch mit BERNMOBIL und verkaufe das Auto (ich meine es ernst).
- Ich freue mich ganz extrem über diesen Entscheid, das kann ich nicht genug betonen! Der furchtbare Gestank der Dieselbusse ist weg - die Lebensqualität in Bern steigt damit für mich wirklich ganz enorm! Und dass ausserdem Biogas verwendet wird, ist zusätzlich sehr, sehr positiv (Stichwort CO_2)! Vielen herzlichen Dank!!!
- Möglichst alle mit Diesel betriebenen Busse durch Gasbusse ersetzen. BERNMOBIL macht sich nicht nur zum Vorbild aller öffentlichen Verkehrbetriebe, sondern auch für alle Privatpersonen die einen PW fahren.
- Für Velofahrer extreme Verbesserung (Warten hinter oder überholt werden durch Bus)
- Für Anwohner viel weniger Lärm!
- Es ist begrüssenswert, dass BERNMOBIL Dieselbusse durch Gasbusse ersetzt. Werden hingegen Trolleybusse durch Gasbusse ersetzt, ist dies ein klarer Rückschritt. Trolleybus ist zu bevorzugen.
- Die bisherige Anzeige "Wagen hält" ist auf den neuen LCD-Displays (Stop) nicht gut erkennbar und nicht selbsterklärend.
- Es ist oftmals mühsam mit den Gasbussen, da sie vielfach Probleme mit den Türen haben. Ich habe noch fast nie erlebt, dass sich die Türen auf der ganzem Fahrt einwandfrei schliessen und das kostet sehr viel Zeit und Geduld! Sonst finde ich sie sehr komfortabel.
- Unabhängig von den Gasbussen wäre eine Schulung des Fahrpersonals in Form eines Bremskurses nötig: Öfter als nötig bremst ein hoher Anteil des Fahrpersonals auch bei Haltestellen recht brüsk. Eine ausgeglichene, vorausschauende Fahrweise spart Treibstoff und vermittelt den Fahrgästen das Gefühl von Sicherheit, was auch Haltezeit spart und somit zur Pünktlichkeit beiträgt.
- Meine ersten Erfahrungen mit dem neuen Gasbus auf der Linie 19 waren eher ernüchternd: Im Innern (hinten im Wagen) ist es lauter, die harten Schalen-Sitze sind weniger bequem und der Bus (oder sein Fahrer?) fuhren deutlich ruppiger. Die Anzeigen zeigen zwar mehr an, die nächste Station ist aber weniger gut lesbar (da kleiner) als bei den alten roten Anzeigen. Die Lautsprecher-Durchsagen sind blechiger und weniger gut verständlich. Insgesamt aus Passagier-Sicht bis jetzt eher ein Rückschritt.
- Piepston der Türen nervt.
- Ausfallquote zu hoch! Innen zu laut!
- Der Lärm auf den hintersten Plätzen ist eine Zumutung. Man kann sich kaum mehr unterhalten. In den neuen Fahrzeugen hat es generell zuviel platzfressende Kunststoffverkleidungen.
- Gravierender Nachteil. Zu wenige Sitzplätze für ältere oder behinderte Fahrgäste. Sitze, welche man besteigen muss.
- Habe Zweifel, ob es sich um Biogas handelt. Wie ich hörte ist es normales Erdgas. Bitte Kunden diesbezüglich präziser informieren.