

**Jahresbericht 2002, 2. Dezember 2002**

# **Systemvergleich Trolley-, Diesel- und (Bio-)Gasbus**

Autor und Koautoren	Ernst Basler + Partner AG
beauftragte Institution	Verkehrsbetriebe Winterthur
Telefon, Email, Internetadresse	052 235 35 35 info@wv-winterthur.ch www.wv-winterthur.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer:	44839/ 84899
Dauer des Projekts:	1. April – 31. Juli 2002

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Ob künftig auf der Linie 4 der Verkehrsbetriebe Winterthur mit Strom, Diesel oder Biogas gefahren wird, ist Gegenstand dieser Analyse. Sie untersucht vergleichend Wirtschaftlichkeit und ökologische Auswirkungen der drei Varianten und erläutert weitere Entscheidungskriterien. Die Studie richtet sich an die politische Behörde und Interessierte dieses Themenkreises.

Die Auswertungen nach den drei Ökobilanz-Methoden deuten übereinstimmend auf eine deutlich kleinere Umweltbelastung durch die Variante Biogas. Wegen des grossen Einflusses der ökologischen Qualität der Antriebsmittel werden beim Gas-beziehungsweise Trolleybus je eine Alternative-Variante mit anderen Antriebsmitteln sowie eine alternative, kurzfristige Situation des Biogasmarktes (mit Gutschriften für den Ersatz bisher betriebener Entsorgungswege) untersucht. Es sind dies die Alternativ-Varianten „Gasbus – Erdgas“, „Trolleybus – Wasserkraft“ und „Biogas 2002“. Die Auswertung dieser Analyse ergeben eine sehr gute Bewertung des mit Biogas betriebenen Gasbusses und zeigen, dass beim Trolleybus die Wahl des Stromprodukts für die Umweltauswirkungen entscheidend ist. Mit Strom aus Wasserkraft erreicht der Trolleybus ähnliche Resultate wie der Biogasbus.

Die Personalkosten für die Fahrer sind der grösste Kostenblock und bei allen Varianten identisch. Die fixen Betriebskosten sowie die Investitionskosten sind beim Trolleybus am höchsten, der Gasbus hat die höchsten variablen Betriebskosten.

Ein mit Biogas betriebener Gasbus schneidet aus ökologischer Sicht sehr gut ab und ist nur unwesentlich teurer als ein Dieselbus (4%). Er weist damit die beste Öko-Effizienz auf. Wenn das Biogas aus Winterthurer Biomasse gewonnen wird, werden Stoffkreisläufe auf anschauliche Weise geschlossen. Dies bietet den Verkehrsbetrieben und der Stadt die Chance, einen zukunftsgerichteten, ökologischen Schritt zu tun, der das Image der Stadt positiv prägt.



## Vorwort

Die Winterthurer Verkehrsbetriebe stehen vor einer Erneuerung ihrer Busflotte. Es stellt sich die Frage, ob im Zuge dieser Beschaffung auch Busse für die Linie 4 (Hauptbahnhof - Breite) in Auftrag gegeben werden sollen. Auf dieser Linie 4 haben bis vor 5 Jahren Trolleybusse verkehrt, die dann durch Dieselbusse ersetzt worden sind. Die bestehende Fahrleitung auf dem 4.7 km langen Rundkurs müsste für den erneuten Einsatz von Trolleybussen komplett überholt werden. Die jüngste Entwicklung in Europa zeigt, dass der Einsatz von gasbetriebenen Bussen zunimmt. Im Rahmen des Programmes EnergieSchweiz nimmt die Förderung erneuerbarer Energien einen wichtigen Stellenwert ein. Die Verwertung von Biogas als Treibstoff stellt dabei eine vielversprechende Option dar.

Ob künftig auf der Linie 4 mit Strom, Diesel oder Biogas gefahren wird, ist Gegenstand dieser Analyse. Sie untersucht vergleichend Wirtschaftlichkeit und ökologische Auswirkungen der drei Varianten und erläutert weitere Entscheidungskriterien. Die Studie richtet sich an die politische Behörde und Interessierte dieses Themenkreises.

Die Verfasser der Studie möchten den Winterthurer Verkehrsbetrieben für die wertvolle Zusammenarbeit und die tatkräftige Unterstützung in der Erarbeitung dieser Entscheidungsgrundlagen herzlich danken.

## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Die Verkehrsbetriebe Winterthur stehen vor dem Entscheid, was für Busse in Zukunft auf der Linie 4 (Rundkurs Hauptbahnhof - Breite) verkehren werden. Sollen weiterhin Dieselbusse zum Einsatz kommen, sollen wieder- wie noch vor fünf Jahren - Trolleybusse verkehren oder soll konsequent auf erneuerbare Energien gesetzt werden, indem CO<sub>2</sub>-neutrales Biogas als Treibstoff gewählt wird? Als Grundlage für diesen Entscheid werden im vorliegenden Bericht die drei Antriebsvarianten in ökonomischer und ökologischer Hinsicht verglichen.

### Die Varianten

Die wichtigsten Merkmale der drei Varianten sind folgende:

- **Variante „Trolley“:** Trolleybusse fahren mit Strom und verursachen dadurch keine direkten Schadstoffemissionen. Für die Stromversorgung benötigen sie ein Fahrleitungsnetz. Wegen der fortschreitenden Strommarkttöffnung wird den Berechnungen der europäische Mix für die Stromproduktion zugrunde gelegt, welcher zu fast 50% aus fossilen Energieträgern (Kohle, Erdöl und Erdgas) produziert wird.
- **Variante „Diesel“:** Die Dieselbusse fahren mit nahezu schwefelfreiem „Greendiesel“ und können auf dem gesamten Strassennetz eingesetzt werden. Die Busse sind mit modernen Filtern (CRT-Filter) ausgerüstet und halten bezüglich Abgase die derzeit gültige EURO3-Norm ein.
- **Variante „Biogas“:** In dieser Studie wird ein mit Biogas betriebener Gasbus bilanziert. Biogas ist CO<sub>2</sub>-neutral und kann aus Winterthurer Biomasse (biogenen Abfällen) hergestellt werden. Gasbusse können auf dem gesamten Strassennetz verkehren. Die Berechnungen basieren auf eher konservativen Annahmen zur Biogas-Herstellung, z.B. werden keine Gutschriften für den Ersatz anderer Entsorgungswege gemacht.

### **Beurteilung der Umweltwirkung**

Die Umweltbelastungen der drei Varianten „Trolley“, „Diesel“ und „Biogas“ werden durch eine Ökobilanzierung gemäss ISO-Norm 14'040 abgeschätzt. Es werden je drei verschiedene Ökobilanzmethoden angewandt. Die Methode der Ökologischen Knappheit 1997 basiert auf einem Vergleich der verursachten Stoffströme mit den politischen Zielen und wird in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt. Die beiden wirkungsorientierten Methoden Eco-Indicator 99 und CML 1992 beurteilen den Beitrag zu den einzelnen Umweltproblemen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen und den Lebensraum.

Mit der Ökobilanz wird nachgewiesen, welches Antriebssystem – Strom, Diesel oder Biogas – für die Buslinie 4 in Winterthur die geringsten Umweltbelastungen verursacht. Die quantifizierten Umweltauswirkungen fließen anschliessend in die Öko-Effizienz-Betrachtungen ein, welche die wirtschaftliche Seite einbeziehen und so eine Gesamtbeurteilung erlauben.

In dieser Studie werden nur Prozesse betrachtet, in welchen sich Diesel-, Gas- und Trolleybusse wesentlich unterscheiden. Diese sind die Herstellung der Antriebsmittel und der Betrieb der Busse.

Die Auswertungen nach den drei Ökobilanz-Methoden deuten übereinstimmend auf eine deutlich kleinere Umweltbelastung durch die Variante Biogas. Welche der anderen zwei Varianten besser ist, lässt sich nicht eindeutig ablesen. Die beiden Methoden Eco-Indicator 99 und CML 1992 beruhen auf einem ähnlichen Ansatz und zeigen beide eine stärkere Umweltbelastung durch die Variante Diesel. Diese Aussage wird aber durch die Methode Ökologische Knappheit 1997 nicht unterstützt.

Wegen des grossen Einflusses der ökologischen Qualität der Antriebsmittel werden beim Gasbeziehungsweise Trolleybus je eine Alternative-Variante mit anderen Antriebsmitteln sowie eine alternative, kurzfristige Situation des Biogasmarktes (mit Gutschriften für den Ersatz bisher betriebener Entsorgungswege) untersucht. Es sind dies die Alternativ-Varianten „Gasbus – Erdgas“, „Trolleybus – Wasserkraft“ und „Biogas 2002“. Die Auswertung dieser Analyse ergeben eine sehr gute Bewertung des mit Biogas betriebenen Gasbusses und zeigen, dass beim Trolleybus die Wahl des Stromprodukts für die Umweltauswirkungen entscheidend ist. Mit Strom aus Wasserkraft erreicht der Trolleybus ähnliche Resultate wie der Biogasbus.

### **Kosten**

In die Kostenbetrachtung fließen die fixen Betriebskosten (Gebäudeunterhalt, Infrastruktur Werkstatt, Depot- und Personalkosten Technik), die variablen Betriebskosten (Treibstoffkosten, Versicherungen, Bereifung, Schmierstoffe, Ersatzteile und variable Personalkosten Technik), die Personalkosten Chauffeure (inklusive Sozialleistungen) und die Investitionskosten (Busse, Fahrleitungen und Gastankstelle) ein.

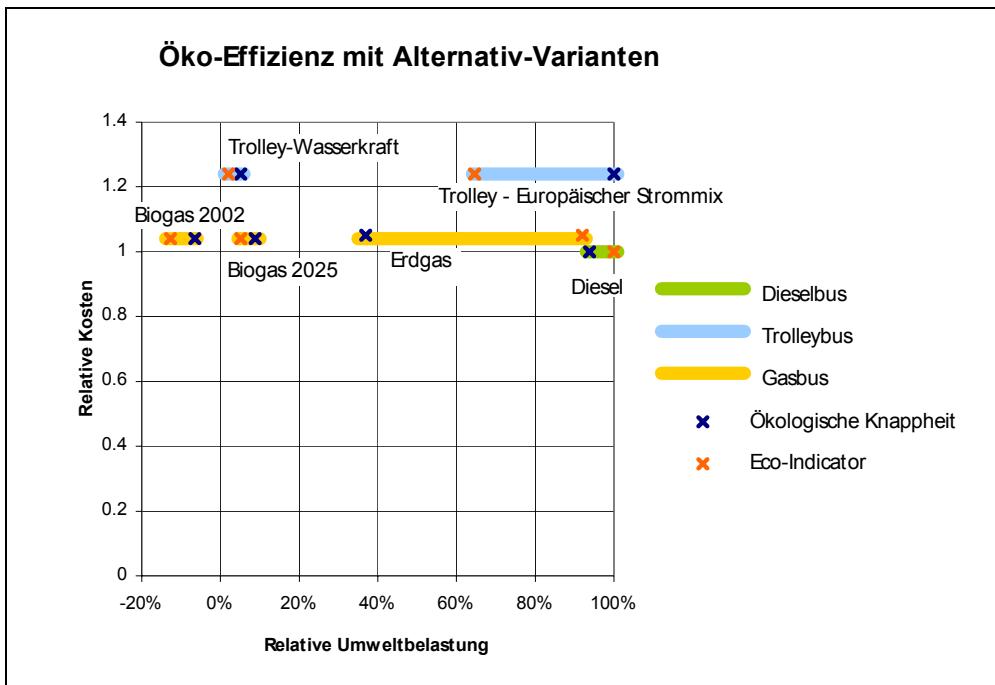
Die Personalkosten für die Fahrer sind der grösste Kostenblock und bei allen Varianten identisch. Die fixen Betriebskosten sowie die Investitionskosten sind beim Trolleybus am höchsten, der Gasbus hat die höchsten variablen Betriebskosten. Insgesamt generiert die Trolleyvariante Mehrkosten gegenüber dem Diesel von knapp CHF 300'000.- pro Jahr oder 24%. Umgerechnet sind das CHF 1.76 pro gefahrenem Kilometer. Die Gasvariante ist gegenüber dem Dieselbus 4% teurer. Dies entspricht Mehrkosten von gut CHF 49'000.- pro Jahr oder CHF 0.30 pro Kilometer.

Die untersuchten Alternativ-Varianten: Betrieb des Gasbusses mit Erdgas, Verwendung von Wasserkraftstrom für den Trolleybus sowie die Berücksichtigung der kurzfristigen Situation des Biogasmarktes zeigen keinen nennenswerte Veränderung der Kostensituation im Vergleich zu ihren Grundvarianten.

Sensitivitätsanalysen basierend auf der Einführung der CO<sub>2</sub>-Abgabe, der Reduktion des Strompreises aufgrund der Strommarktliberalisierung und der Abschreibungen aller Investitionen über den Betrachtungszeitraum von 12 Jahren zeigen, dass das erhaltene Resultat durch keine der genannten Variablenveränderung stark beeinflusst wird. Der Trolleybus bleibt in allen Szenarien zwischen 22 und 30 % teurer, der Gasbus 3-4%.

## Vergleich von Kosten und Umweltwirkungen

Eine Gegenüberstellung von ökonomischen und ökologischen Auswirkungen ergibt folgendes Bild.



Aus obenstehender Grafik geht hervor, dass der mit Biogas betriebene Gasbus (Biogas) gegenüber dem Dieselbus eine um 80-95% geringere Umweltverschmutzung bei sehr geringen Mehrkosten erreicht. Ein mit Strom aus Wasserkraft betriebener Trolleybus ist bei gleicher Umweltbelastung etwa 20% teurer als ein mit Biogas betriebener Gasbus.

## Schlussfolgerungen

Aus dem Vergleich der Varianten bezüglich Kosten, ökologischen Auswirkungen und weiteren Beurteilungskriterien können folgende Hauptaussagen gemacht werden:

- Die kostengünstigste Variante ist der Dieselbus. Er schneidet in der ökologischen Betrachtung jedoch schlecht ab.
- Ein mit Biogas betriebener Gasbus schneidet aus ökologischer Sicht sehr gut ab und ist nur unwesentlich teurer als ein Dieselbus (4%). Er weist damit die beste Öko-Effizienz auf. Wenn das Biogas aus Winterthurer Biomasse gewonnen wird, werden Stoffkreisläufe auf anschauliche Weise geschlossen. Dies bietet den Verkehrsbetrieben und der Stadt die Chance, einen zukunftsgerichteten, ökologischen Schritt zu tun, der das Image der Stadt positiv prägt.
- Ein mit Erdgas betriebener Gasbus ist etwa gleich teuer wie der mit Biogas betriebene Gasbus, schneidet aber auf der Umweltseite weniger gut ab als der Biogas-Bus.
- Ein Trolleybus ist mit Mehrkosten von ca. 24% wesentlich teurer als ein Dieselbus. Der Trolleybus verursacht beim Betrieb keine direkten Schadstoffmissionen und wird deshalb bei einer rein lokalen Sichtweise gegenüber dem Dieselbus bevorzugt. Eine solche „lokale ökologische“ Sicht ist heute jedoch kaum mehr vertretbar.
- Die globalen Umweltauswirkungen des Trolleybusses sind stark abhängig von der Wahl des Stromprodukts. Unabhängig davon betragen die Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus ca. 24%. Wird europäischer Strom gekauft, sind die ökologischen Auswirkungen nicht eindeutig besser als bei einem Dieselbus, was die Mehrkosten nicht rechtfertigt. Wird der Trolleybus

hingegen mit Schweizer Wasserkraft-Strom betrieben, so schneidet er aus ökologischer Sicht sehr gut ab und kann so für die Mehrkosten klare Umweltvorteile aufweisen.

- Es ist betriebswirtschaftlich sinnvoll, eine möglichst homogene Fahrzeugflotte mit möglichst ähnlicher Antriebstechnologie anzustreben.

Aus den oben stehenden Aussagen können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

Der Einsatz von Gasbussen ist sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht sehr empfehlenswert, besonders wenn sie mit Biogas betrieben werden. Die Vergärung von biogenen Abfällen ist eine zukunftsähnliche Technologie zur Gewinnung erneuerbarer Energie und zur Schließung lokaler Stoffkreisläufe. Der Einsatz von Gasbussen bietet der Stadt Winterthur eine gute Gelegenheit, ihr Engagement für nachhaltige Lösungen weiterzuführen.

Der Einsatz von Trolleybussen sollte zwingend mit der Verwendung von Wasserkraft-Strom (oder Strom aus anderen erneuerbaren Energien) gekoppelt werden. Angetrieben durch Strom aus Wasserkraft stehen den 24% jährlichen Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus eine bedeutende Reduktion der Umweltbelastung gegenüber. Gegenüber dem Gasbus besteht der Vorteil, dass keine neue Antriebstechnologie eingesetzt werden muss.