

Beispiel eines ökonomisch-ökologischen Vergleichs verschiedener Bussysteme:

Dieselbus, Trolleybus oder gar Erdgasbus?

Ausgangslage und Zielsetzung

Die Frage, ob auf einer Buslinie des öffentlichen Verkehrs Dieselbusse, Erdgasbusse oder Trolleybusse eingesetzt werden sollen, lässt sich nicht ohne weiteres beantworten. Trolleybusse sind vergleichsweise emissionsarm, aber bezüglich Betrieb relativ teuer. Andererseits sind Busse mit Antriebssystemen auf der Basis fossiler Energieträger (z. B. Dieselöl oder Erdgas) kostengünstiger, weisen jedoch im Vergleich zu Trolleybussen Nachteile bei den Umweltwirkungen auf. Die Frage stellte sich auch den Winterthurer Verkehrsbetrieben, die eine ihrer bestehenden Trolleybuslinien, die sogenannte «Breite-Linie», aus Altersgründen vollständig (Busse und Fahrleitung) erneuern müssen. Die Bedeutung dieser Fragestellung reicht jedoch über die Stadt Winterthur hinaus, da z. B. im Massnahmenplan Luftthygiene des Kantons Zürich (Lit. 1) und auch in anderen Kantonen vorgeschlagen wird, Dieselbusse aus luftthygienischen Gründen wenn möglich durch Trolleybusse zu ersetzen.

Die Umweltschutzfachstelle der Stadt Winterthur hat deshalb die verschiedenen Busantriebssysteme – Trolleybus, Erdgasbus, Dieselbus – in einem ökonomischen und ökologischen Vergleich evaluieren lassen. Ziel

des Vergleichs ist, eine Entscheidungsgrundlage für die Bussystemwahl bereitzustellen, die sowohl die Systemkosten als auch die System-Umweltwirkungen als Parameter berücksichtigt. Der Vergleich wurde konkret am Fallbeispiel der Winterthurer «Breite-Linie» durchgeführt. Die Methodik kann jedoch auch für andere Buslinien angewendet werden. Der Bericht, welcher den Vergleich dokumentiert, enthält im Anhang alle wesentlichen Grundlagen für die Adaption der Methodik auf andere Buslinien (Lit. 2).

Überblick über das methodische Vorgehen

Hinweise zum Vorgehen

Der Vergleich der drei verschiedenen Bussysteme erfolgt aufgrund einer Gegenüberstellung ihrer Kosten und ihrer Umweltbelastungen. Dabei werden nur diejenigen Umweltbelastungen in den Vergleich einbezogen, in welchen sich die einzelnen Antriebsvarianten signifikant unterscheiden. Die Umweltbelastungen, ausgedrückt in Umwelt-

Redaktionelle Verantwortung für diesen Beitrag:
Umweltschutzfachstelle der Stadt Winterthur
Daniel Klooz, Beauftragter für Umweltschutz und Energie
Obertor 32, 8402 Winterthur
Telefon 052 267 53 02



Bild: Winterthurer AZ

belastungspunkten, ermöglichen den Vergleich und die Bewertung der verschiedenen Umweltwirkungen der drei Busantriebssysteme auf der Basis des Prinzips der ökologischen Knappheit.

Damit der Vergleich der einzelnen Umweltwirkungen miteinander möglich ist, müssen diese aufgrund ihrer Schädlichkeit gewichtet werden. Die Gewichtung erfolgt nach der BUWAL-Ökobilanz-Methode (Lit. 3). Als Mass für die Schädlichkeit dient die sogenannte ökologische Knappheit des Mediums, in welches die Emissionen abgegeben werden. Die Knappheit wird mit dem sogenannten Ökofaktor ausgedrückt. Dieser ist abhängig vom heutigen Ausstoss (Ist-Fluss der Emissionen) und vom Fluss der durch das Umweltmedium langfristig verkräftbaren Emissionen (kritischer Fluss). In der Praxis ist es nicht möglich, die kritischen Flüsse aufgrund von naturwissenschaftlich exakt ermittelten Grenzwerten festzulegen. Für deren Bestimmung werden deshalb gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte oder umweltpolitische Zielvorstellungen herangezogen. Diese beruhen letztlich jedoch immer auf politischen Entscheiden und widerspiegeln die heutigen gesellschaftlichen Wertvorstellungen. Trotzdem hat sich die Ökobilanz-Methodik in der Praxis bei Fragestellungen der hier vorliegenden Art bewährt.

Beim gewählten Vorgehen werden die Partikel- und Lärmemissionen verhältnismässig stark gewichtet. Im Falle des Lärms ist dies in erster Linie eine Folge der generell zu hohen Lärmbelastung in Städten der Schweiz. Bei den Partikeln ist die starke Gewichtung darauf zurückzuführen, dass deren Konzentration in der Luft von Agglomerationen zur Reduktion des Krebsrisikos drastisch gesenkt werden müsste (Lit. 4, 5, 6).

Kosten und Umweltbelastungen

Umweltbelastungen

Im Vergleich wird unterschieden zwischen Emissionen mit lokaler Wirkung und solchen mit globaler Wirkung (Treibhausgase). Emissionen mit lokaler Wirkung sind

- 1 NOx (Stickoxide)
- 1 VOC (flüchtige organische Verbindungen)
- 1 SO₂
- 1 Partikel und
- 1 Lärm

Emission		Ökofaktor (Belastungspunkte/g), bzw. (Belastungspunkte/km) für Lärm
Luftschadstoffe:	NO_x	28,2
	VOC	11,1
	SO₂	18,4
	Partikel	22'500
	CO₂	0,025
	CH₄	4,2
Lärm:	Trolley- und Gasbus	140
	Dieselbus	1550

Ökofaktoren als Mass für die ökologische Knappheit des durch die Emission belasteten Mediums.

Charakteristisch für diese Emissionen ist, dass sie beim Menschen direkte gesundheitliche Wirkungen haben können.

Emissionen mit globaler Wirkung sind die Treibhausgase

- 1 CO₂ (Kohlendioxid) und
- 1 CH₄ (Methan)

Die Treibhausgase haben bei den heute auftretenden Konzentrationen keine direkten gesundheitlichen Folgen für den Menschen. Sie beeinflussen jedoch das globale Klima.

Die Ermittlung der Umweltwirkungen muss aufgrund der Orte ihrer Einwirkung in zwei unterschiedlichen Systemgrenzen erfolgen: Im lokalen Perimeter (im Fallbeispiel die Stadt Winterthur) werden diejenigen Emissionen betrachtet, die durch den Betrieb der Buslinie vor Ort selber anfallen. Ein Trolleybus z. B. verursacht in diesem Perimeter nur Lärm-, jedoch keine Schadstoff-Emissionen. Im globalen Perimeter werden die Emissionen, die durch die «vorgelagerten Prozesse» verursacht werden, in den Vergleich miteinbezogen. Diese Emissionen fallen an bei der Produktion der benötigten Energie und bei ihrer Anlieferung zum Bussystem. Im Systemvergleich werden beim Trolleybus die Emissionen der oben erwähnten Schadstoffe für die Stromproduktion und -anlieferung auf Mittelspannungs-Niveau berücksichtigt. Da die Schweiz Bestandteil des gesamteuropäischen Stromverbundes ist, wird dem Vergleich der europäische Mix für die Stromproduktion (UCPTE-Mix¹) zugrundegelegt. Dieser Mix berücksichtigt, dass in Europa Strom zu fast

fünfzig Prozent aus fossilen Energieträgern (Kohle, Erdöl, Erdgas) produziert wird. Beim Dieselbus sind es die Schadstoff-Emissionen für die Produktion und den Transport von Dieselöl bis zum Regionallager und beim Gasbus diejenigen bis zum Bezug ab Ortsgasversorgung. Die Emissionen der «grauen» Energie für die Erstellung der notwendigen Infrastruktur für die Energieproduktion und -verteilung (Kraftwerke, Pipelines, Strommasten, ...) werden im Vergleich berücksichtigt. Die «graue» Energie, welche in den Bussen selber enthalten ist, wird nicht berücksichtigt, da sich die Antriebsvarianten in diesem Punkt nur unwesentlich unterscheiden.

Die Umweltbelastungspunkte pro km und Emissionsart für jede der Bussystemvarianten erhält man, indem die Ökofaktoren mit den Emissionen pro km multipliziert werden.

Kosten

Für den Vergleich werden für jede der drei Antriebsvarianten die durchschnittlichen Kosten pro km ermittelt. Berücksichtigt werden dabei

- 1 die Investitionskosten für neue Fahrzeuge
- 1 die Investitionskosten für neue Fahrleitungen beim Trolleybussystem
- 1 die Investitionskosten für die Gasbetankungsanlage beim Erdgasbussystem und
- 1 die fixen und variablen Kosten für Betrieb und Unterhalt.

Die ursprüngliche Unsicherheit über allenfalls zusätzliche Kosten aus speziellen Sicherheitsanforderungen beim Einsatz von Erdgasbussen ist heute ausgeräumt. Betankungsanlagen müssen in der Schweiz den Normen für Erstellung, Betrieb und Unterhalt von Erdgasbetankungsanlagen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfachs entsprechen

¹ Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité

(Lit. 7). Im Betrieb und bei der Garagierung ist die Sicherheit von Erdgasbussen und Dieselsebussen beim heutigen technischen Stand gleichwertig (Lit. 8, 9). Es resultieren somit beim Erdgasbussystem keine Kosten aus zusätzlichen Sicherheitsanforderungen.

Fallbeispiel: Winterthurer «Breite-Linie»

Die «Breite-Linie»

Die sogenannte «Breite-Linie» (Buslinie Nr. 4) ist ein relativ kurzer, 4,7 km langer Rundkurs, bei dem die Busse in der Regel im Gegenuhrzeigersinn zwischen dem Winterthurer Hauptbahnhof und dem Quartier «Breite» verkehren. Bis vor kurzem sind im Normalbetrieb insgesamt zwei Trolleybusse eingesetzt worden. Seit wenigen Monaten fahren, aufgrund von Verkehrsumleitungen infolge von Bauarbeiten, Dieselsebuse auf dieser Linie. Insgesamt erbringen die Busse eine jährliche Fahrleistung von 209'000 km. Mit einer durchschnittlichen Auslastung von vier Personen pro Fahrzeug sind die Passagierfrequenzen sehr gering. Bisher sind aufgrund der zum Teil sehr engen Strassenverhältnisse und der ungünstigen Topographie mit Steigungen von bis zu neun Prozent nur zweiachsige Solobusse zum Einsatz gekommen.

Umweltwirkungen

Schadstoff-Emissionen

Zur Ermittlung der Schadstoff-Emissionen der drei Busantriebssysteme auf der «Breite-Linie» wurde angenommen, dass es sich dabei um Fahrzeuge neuester Technologie handelt (Dieselsebuse halten Euro-2-Norm ein, Gasbuse verfügen über Dreiweg-Katalysatoren).

Gemessen an den NO_x-Emissionen ist der Dieselsebus mit Abstand die ungünstigste der

Perimeter	Emissionen	Umweltbelastungspunkte pro km für die «Breite-Linie»		
		Dieselsebus	Gasbus	Trolleybus
Winterthur	lokale Schadstoffe (NO _x , VOC, SO ₂ , Partikel) und Lärm	11'344	1'853	140
	Treibhausgase (CO ₂ , CH ₄)	27	28	0
	Total	11'371	1'881	140
Erde (d. h. inkl. vorgelagerte Prozesse)	lokale Schadstoffe (NO _x , VOC, SO ₂ , Partikel) und Lärm	11'420	1'885	257
	Treibhausgase (CO ₂ , CH ₄)	37	62	26
	Total	11'457	1'947	283

Umweltbelastungspunkte pro km für die drei untersuchten Bussysteme auf der Winterthurer «Breite-Linie».

drei Varianten. Die CO₂-Emissionen sind dagegen beim Gasbus leicht höher als beim Dieselsebus, da der Dieselmotor einen besseren Wirkungsgrad aufweist. Der geringere Kohlenstoff-Gehalt von Erdgas wird so kompensiert. Im Perimeter «Erde» verursacht auch der Trolleybus aufgrund des teilweise durch fossile Energieträger erzeugten Stroms relevante CO₂-Emissionen.

Lärm

Die eidgenössische Lärmschutzverordnung (LSV) [Lit. 10] unterscheidet zwischen «lauten» und «leisen» Fahrzeugen. Trolleybusse werden zu den leisen Fahrzeugen gezählt. Die lärmässige Zuordnung der Diesel- und Gasbuse ist in der Verordnung nicht geregelt.

Lärmessungen bei der «Breite-Linie» haben gezeigt, dass Dieselsebuse bei der Abfahrt von einer Haltestelle in einer Steigung rund neun dBA lauter sind als Trolleybusse. Im Vergleich wird deshalb der Dieselsebus analog zu Lastwagen zu den «lauten» Fahrzeugen gerechnet. Gasbuse werden zu den «leisen» Fahrzeugen gezählt.

Bei einer Umstellung der «Breite-Linie» von Trolleybussen auf Dieselsebuse erhöhen sich der Anteil der «lauten» Fahrzeuge und somit die Lärmemissionen. Die maximale Erhöhung liegt im Bereich von 1 dBA. Diese Zunahme liegt im Bereich der Wahrnehmbarkeitsschwelle. Bei einer Umstellung des Betriebs auf Gasbuse ergibt sich keine Veränderung der Lärmbelastung im Vergleich zum Trolleybusbetrieb.

Umweltbelastungen

Aus den Umweltbelastungen der drei Bussysteme, ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten, geht deutlich hervor, dass die lokalen Umweltwirkungen einen weitaus grösseren Stellenwert einnehmen als die globalen. Dies ist speziell auf die grosse Gewichtung der Partikel- und Lärmemissionen zurückzuführen. Der Einbezug der vorgelagerten Prozesse (Perimeter Erde) erhöht die gesamte Umweltbelastung nur unwesentlich. Nur bei den Treibhausgasen sind relevante Zunahmen festzustellen.

Unabhängig vom betrachteten Perimeter verursacht die Variante «Dieselsebus», sowohl insgesamt gesehen als auch bei den Emissionen mit lokalen Wirkungen, die grössten, die Variante «Trolleybus» die geringsten Umweltbelastungen. Bei den Treibhausgasen schneidet die Variante «Gasbus» sowohl bei den Emissionen in Winterthur als auch bei denjenigen unter Einbezug der vorgelagerten Prozesse (Perimeter Erde) am schlechtesten ab.

Perimeter	Schadstoff	Emissionen für die «Breite-Linie» (t/Jahr)		
		Dieselsebus	Gasbus	Trolleybus
Winterthur	NO _x	2,4	0,9	0
	CO ₂	228	232	0
Erde (inkl. Winterthur)	NO _x	2,6	1,0	0,3
	CO ₂	254	261	154

Schadstoff-Emissionen der untersuchten Bussysteme auf der Winterthurer «Breite-Linie» in Tonnen pro Jahr.

	Kosten pro Fahrzeug (sFr./km)		
	Dieselbus	Gasbus	Trolleybus
• Energiekosten	0.19	0.27	0.19
• übrige variable Kosten Fahrzeug	0.76	0.76	0.81
Total variable Kosten Fahrzeug	0.95	1.03	1.00
• Fix- und Unterhaltskosten Fahrleitung	–	–	0.62
• Kostenanteil Betankungsanlagen	–	0.12	–
• übrige Fixkosten Fahrzeug	1.00	1.11	1.71
Total Fixkosten Fahrzeug	1.00	1.23	2.33
Total Fahrzeugkosten	1.95	2.26	3.33
Personalkosten (Chauffeur)	4.40	4.40	4.40
Totalkosten	6.35	6.66	7.73
relative Mehrkosten im Vergleich zum Dieselbus			
• Fahrzeugkosten	–	16 %	71 %
• Totalkosten	–	5 %	22 %

Kosten pro Fahrzeug für die untersuchten Bussysteme in Fr. pro km auf der Winterthurer «Breite-Linie».

Kosten

Die Kosten für Diesel- und Trolleybusse basieren auf den Angaben der Winterthurer Verkehrsbetriebe. Wo die notwendigen Informationen für die Gasbusse fehlten, wurden die Daten aufgrund von Herstellerangaben und der aktuellen Fachliteratur ermittelt. Die Kosten gründen auf der Annahme, dass in jeder Variante neue Fahrzeuge beschafft werden, welche bezüglich Umweltwirkungen optimiert sind und dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

Der Dieselbus ist sowohl bezüglich der Fahrzeugkosten als auch bezüglich der totalen Kosten am günstigsten. Beim Gasbus sind die Fahrzeugkosten um 16 Prozent höher als beim Dieselbus. Bei den variablen Kosten ist die Kostendifferenz auf die höheren Treibstoffpreise und den grösseren Treibstoffverbrauch als bei den Dieselfahrzeugen zurückzuführen. Bei den Fixkosten sind die Mehraufwände in den höheren Anschaffungskosten sowie den Zusatzaufwendungen infolge Installation und Unterhalt einer Betankungsanlage begründet.

Der Trolleybus verursacht die höchsten Kosten. Berücksichtigt man lediglich die Fahrzeugkosten, resultieren, verglichen mit dem Dieselbus, 71 Prozent höhere Kosten.

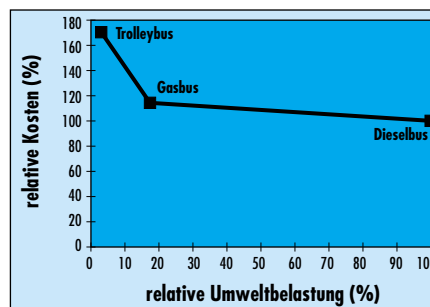
Die höheren Kosten sind auf die zusätzlichen Ausgaben für die Fahrleitung und den höheren Preis der Fahrzeuge zurückzuführen. Diese Mehrkosten als Folge des höheren Anschaffungspreises werden jedoch teilweise

durch tiefere Abschreibungskosten pro Jahr (längere Lebensdauer der Trolleybusse) kompensiert.

Die Differenzen bei den Totalkosten der drei Bussysteme sind wesentlich kleiner. Dies ist bedingt durch den hohen und für alle Varianten frankenmässig gleich grossen Personalkostenanteil im Bereich von sechzig bis siebenzig Prozent.

Systemvergleich unter Berücksichtigung von Kosten und Umweltbelastung

Als Bezugsbasis für den relativen Systemvergleich wird die Variante «Dieselbus» als Referenzvariante gewählt (hundert Prozent Kosten, hundert Prozent Umweltbelastung). Da sich die Umweltbelastungen ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten in den Perimetern «Winterthur» und «Erde» nur unwesentlich

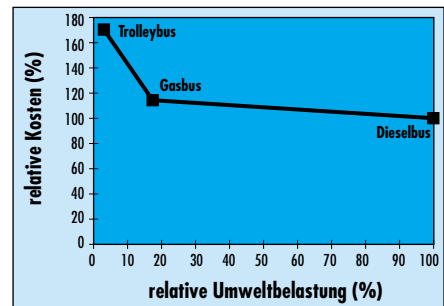


Kosten-Wirksamkeits-Vergleich für die gesamte Umweltbelastung für die «Breite-Linie».

unterscheiden, wird für den Vergleich der Perimeter «Erde» gewählt.

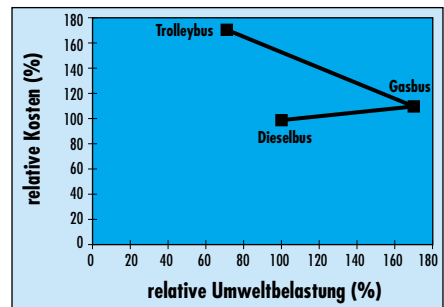
Berücksichtigt man die gesamten Umweltwirkungen, weist der Gasbus das vorteilhafteste Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis auf. Gegenüber dem Dieselbus können die Umweltbelastungen mit nur 16 Prozent Mehrkosten um 83 Prozent reduziert werden. Der Trolleybus weist gegenüber dem Gasbus zwar eine um 15 Prozent tiefere Umweltbelastung auf, die Kosten sind aber demgegenüber um 55 % höher.

Berücksichtigt man nur die Emissionen mit lokalen Auswirkungen, so ist das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis praktisch identisch mit demjenigen für die gesamten Wirkungen. Damit wird der grosse Einfluss der Emissionen mit lokalen Wirkungen, speziell wegen der hohen Gewichtung der Lärm- und Partikel-Emissionen, deutlich.



Kosten-Wirksamkeits-Vergleich für die «Breite-Linie» für Emissionen mit lokaler Wirkung.

Bei den globalen Auswirkungen im Perimeter «Erde» scheidet der Gasbus v.a. wegen seiner gegenüber dem Dieselbus höheren Methan-Emissionen am schlechtesten ab. Von den anderen zwei Varianten ist der Dieselbus günstiger als der Trolleybus, da letzterer zwar 31 Prozent weniger Umweltbelastungen verursacht, dafür aber 71 Prozent mehr kostet. Der Einfluss der globalen Auswirkungen auf die Gesamtbewertung ist allerdings wegen der geringen Gewichtung der Emissionen mit globaler Wirkung klein.



Kosten-Wirksamkeits-Vergleich für die «Breite-Linie» für Emissionen mit globaler Wirkung.

Stabilität des Vergleichsergebnisses

Der Vergleich basiert auf einem Modell mit Parametern, für deren Werte teilweise Annahmen getroffen werden müssen, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Es stellt sich deshalb die Frage, ob und wie stark das Resultat des Vergleichs durch Veränderungen in den Annahmen beeinflusst wird. Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen sind deshalb der Einfluss von Änderungen in den Kosten und bei den Umweltwirkungen auf das Ergebnis untersucht worden.

Einfluss von Änderungen bei den Kosten

Beim Kostenvergleich spielen nur die relativen Mehr- resp. Minderkosten einer Variante gegenüber den beiden anderen Varianten eine Rolle. Die Sensitivitätsanalyse beschränkt sich deshalb auf die Klärung des Einflusses der Treibstoffpreise, der Kapitalkosten und beim Trolleybus der Kosten für die Fahrleitung.

1 Treibstoffpreise

Die Treibstoffpreise machen nur einen Anteil von sechs bis zwölf Prozent an den totalen Fahrzeugkosten pro km aus. Das Ergebnis des Systemvergleichs ist deshalb sehr stabil gegenüber Änderungen bei den Treibstoffpreisen. Eine Halbierung oder Verdoppelung des Strom-, Diesel- oder Gaspreises beeinflusst die Rangierung der drei Varianten bezüglich ihrer Kosten nicht.

1 Kapitalkosten

Die Variante Trolleybus bleibt sowohl bei einer Verdoppelung als auch bei einer Halbierung der Kapitalkosten die teuerste Variante. Beim Dieselbus verändert eine Halbierung der Kapitalkosten die Rangierung nicht. Ab einer Erhöhung der Kapitalkosten um mehr als 45 Prozent wird die Dieselbusvariante teurer als die Gasbusvariante.

1 Fahrleitungskosten

Selbst wenn die Fahrleitungskosten nicht berücksichtigt werden, bleibt das Trolleybus-system die teuerste Variante.

Einfluss von Änderungen bei den Umweltwirkungen

1 Zusammensetzung der Energieträger für die Stromproduktion

Im Vergleich zur europäischen Stromproduktion verursacht die Stromproduktion in der

Schweiz weniger für den Vergleich relevante Emissionen. Rund 57 Prozent des Stroms werden in der Schweiz durch Wasserkraftwerke und 41 Prozent durch Atomkraftwerke produziert. Wird die Stromproduktion im Vergleich mit dem Schweizer Mix gewichtet, so ändert sich die Rangfolge unter den Varianten nicht. Der Gasbus weist unter diesen Annahmen immer noch das günstigste Verhältnis zwischen Kosten und Umweltbelastungen auf. Dass sich die Rangfolge der Bussysteme untereinander nicht ändert, ist darauf zurückzuführen, dass die Umweltbelastung bei den Trolleybussen zu über fünfzig Prozent auf deren Lärmemissionen zurückzuführen ist. Die Gewichtung der Emissionen mit dem Schweizer Mix beeinflusst das Ergebnis somit nicht massgeblich.

1 Partikel-Emissionen

Die Partikel weisen im Modell das mit Abstand grösste Gewicht bei der Bewertung der einzelnen Umweltwirkungen auf. Die Bestimmung des kritischen Flusses ist mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet, da unter Fachleuten keine Einigkeit bei der Beurteilung des Stellenwertes der Partikel-Emissionen besteht (Lit. 5, 11). Werden die Partikel-Emissionen bei der Bewertung überhaupt nicht berücksichtigt, nimmt die Umweltbelastung, gemessen in Umweltbelastungspunkten, beim Diesel- und beim Gasbussystem je um etwa 80 % ab. Der Gasbus verursacht nur noch geringfügig höhere Umweltbelastungen als der Trolleybus und weist deshalb gegenüber diesem ein noch besseres Verhältnis zwischen Kosten und Umweltbelastung auf. Die Rangfolge der Varianten untereinander bleibt jedoch unverändert.

1 Lärmemissionen der Gasbusse

Werden die Gasbusse im Vergleich im Sinne der LSV statt als «leise» Fahrzeuge als «laute» Fahrzeuge eingestuft, so resultiert für dieses Bussystem ein ungünstigeres Verhältnis zwischen Kosten und Umweltbelastungen. Trotzdem weist der Vergleich immer noch auf den Gasbus als die zu wählende Variante.

Einfluss von Änderungen in der Bewertung der Umweltwirkungen

Die kritischen Flüsse zur Bestimmung der Ökofaktoren basieren auf dem Luftreinhaltekonzept des Bundes und anderen umweltpolitischen Zielvorstellungen. Mit den im Rahmen des Luftreinhaltekonzeptes angestrebten

Reduktionen der NO_x- und VOC-Emissionen lassen sich jedoch die Immissionsgrenzwerte für Ozon (O₃) nicht einhalten. Ebenso wenig lässt sich mit der im Rahmen von Energie 2000 angestrebten Stabilisierung der CO₂-Emissionen auf dem Niveau von 1990 das heutige globale Klima erhalten.

Zum Erreichen dieser langfristigen Umweltziele wären wesentlich grössere Reduktionen der Schadstoffflüsse notwendig, als sie den entsprechenden Konzepten des Bundesrates zugrunde liegen. Die kritischen Flüsse für die entsprechenden Schadstoffe (NO_x, VOC, CO₂, CH₄) müssten deshalb kleiner und die Ökofaktoren und damit das Gewicht bei der Bewertung der Umweltwirkungen höher sein.

Werden die Emissionen der verschiedenen Varianten nach langfristigen Umweltzielen bewertet, so ändert sich das Ergebnis des Vergleiches nur unwesentlich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Partikel- und Lärm-Emissionen, welche den grössten Anteil an der gesamten Umweltbelastung aufweisen, durch die Bewertung nach langfristigen Umweltzielen nicht verändert werden.

Schlussfolgerungen für die Winterthurer «Breite-Linie»

Der ökonomisch-ökologische Vergleich der drei Bussysteme für die «Breite-Linie» zeigt, dass der Dieselbus ökonomisch die günstigste Variante darstellt. Die Variante Gasbus ist mit 16 Prozent höheren Fahrzeugkosten, bzw. fünf Prozent höheren Totalkosten pro km nur unwesentlich teurer. Bei der Variante Trolleybus fallen deutlich höhere Kosten pro km an.

Unter Einbezug der ökologischen Auswirkungen zeigt sich, dass die Variante Gasbus insgesamt das beste Verhältnis zwischen Kosten und Umweltbelastungen aufweist. Bei den lokal wichtigen Emissionen, wie z. B. Stickoxiden und Partikeln, sowie beim Lärm bringt der Gasbus gegenüber dem Dieselbus eine markante Verbesserung mit geringen Mehrkosten. Da die Treibhausgase gegenüber den lokalen Auswirkungen ein relativ geringes Gewicht haben, können die diesbezüglichen Nachteile des Gasbusses in dieser Hinsicht in Kauf genommen werden. Der Trolleybus schneidet zwar bezüglich Umweltbelastungen noch besser ab als der Erdgasbus, doch sind für diese relativ bescheidenen Verbesserungen relativ hohe Mehrkosten in Kauf zu nehmen.

Literatur

- 1) Regierungsrat des Kantons Zürich
Luft-Programm für den Kanton Zürich, Massnahmenplan Lufthygiene
Kanton Zürich, Direktion der öffentlichen Bauten, Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene, Zürich, April 1990
- 2) E. Basler und Partner
Systemvergleich zwischen Trolleybus, Dieselbus und Erdgasbus
Stadt Winterthur, Departement Sicherheit und Umwelt, Beauftragter für Umweltschutz und Energie, Winterthur, Oktober 1995
- 3) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung
BUWAL-Schriftenreihe Umwelt Nr. 133, Bern, Oktober 1990
- 4) Länderausschuss für Immissionschutz
Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 1992
- 5) Peter Straehl, Hans-Urs Wanner
Dieselmotorenabgase und Krebsrisiko
Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 28. März 1995
- 6) Peter Straehl, Hans-Urs Wanner
Zum Krebsrisiko von Dieselmotorabgasen
Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 10. Oktober 1995
- 7) Martin Seifert
Persönliche Mitteilung vom 4. September 1995
Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches, Zürich
- 8) Roland Jaccard, Werner Gerber, Marcel Kuttler
Projekt zur Inverkehrsetzung von 12 Erdgasbussen in Basel
Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches, Gas, Wasser, Abwasser, Nr. 6/95, Zürich, 1995
- 9) Ueli Oester
Probleme bei der Zulassung von Erdgastankstellen
Schweizerischer Verein des Gas und Wasserfaches, Gas, Wasser, Abwasser, Nr. 6/95, Zürich, 1995
- 10) **Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 (SR 814.41)**
- 11) Werner Stöber
Zur vermuteten Kanzerogenität von Dieselruss: Alarmrufe als «vorsorgliche Übertreibung»?
Neue Zürcher Zeitung, Zürich, 6. Juni 1995