



Die Wirtschaftlichkeit des Trolleybusses – volkswirtschaftliche und betriebswirtschaftliche Aspekte

*Erstfassung: 14. Mai 2004
Überarbeitet: 7. September 2012*

Inhaltsverzeichnis

1 Was heisst „Wirtschaftlichkeit“?	3
2 Betriebswirtschaft: die Kostenseite	4
2.1 Investitions- und Kapitalkosten	4
2.2 Betriebs- und Unterhaltskosten	6
2.3 Kosten: Gesamtübersicht	7
2.4 "Verborgene" Kosten des Trolleybusses	8
3 Kundennutzen: "Die Schienen am Himmel"	8
4 Aussichten	9
5 Externe Kosten: Vorteile für den Trolleybus	10
5.1 Die Kriterien	10
5.2 Ressourcenverbrauch: Energie	11
5.3 Ausstoss von Klimagasen	12
5.4 Emission von Luftschadstoffen	12
5.5 Lärmbelastung	14
5.6 Der Einfluss der Stromerzeugung	14
5.7 Unfälle	15
5.8 Externe Kosten: der Trolleybus im Vorteil	16
6 Schlussfolgerungen	17
7 Literatur	18

1 Was heisst „Wirtschaftlichkeit“?

Jedermann glaubt zu wissen, was unter dem Begriff der „Wirtschaftlichkeit“ zu verstehen ist. Nur zu oft wird er indessen zu eng gefasst. Deshalb soll hier vorerst rekapituliert werden, was er beinhaltet:

- die **Kosten**: je geringere Kosten anfallen, desto wirtschaftlicher ist ein Produkt. Dabei geht es um die Investitionskosten resp. daraus abgeleitet die Kapitalkosten sowie die Betriebs- und Unterhaltskosten
- die **Ertragsseite**: je mehr Kundennutzen ein Produkt stiftet, desto höher ist die Zahlungsbereitschaft der Kunden, desto besser wird ein Produkt auch vom Markt aufgenommen.
- die sog. „**externen Kosten**“ wie Luft- und Lärmbelastungen, Unfälle etc.: je weniger externe Kosten ein Produkt verursacht, desto besser ist es auch aus einer volkswirtschaftlichen Sicht.

Bei einer Beurteilung der Produkte „Beförderung mit Dieselbus“ resp. „Beförderung mit Trolleybus“ ist dies nicht anders.

Dass eine Kostenbetrachtung zu einer Wirtschaftlichkeitsanalyse gehört, braucht nicht näher erläutert zu werden. Dass aber auch Marktüberlegungen, d.h. die Frage, welches Produkt besser vom Markt aufgenommen wird, zu einem Wirtschaftlichkeitsvergleich gehören, geht gelegentlich vergessen. Noch öfters wird die volkswirtschaftliche Seite ausgeblendet. Dabei sind die externen Kosten gerade im Verkehr sehr bedeutsam. Die Öffentlichkeit als Vertreterin der Interessen der Allgemeinheit und gleichzeitig wichtige Bestellerin von Leistungen und Finanziererin von Verkehrsinfrastrukturen muss diese Aspekte berücksichtigen. Die Öffentlichkeit als Kundin kann und muss auch mit Argumenten zu den externen Kosten überzeugt werden.

Im folgenden werden diese Aspekte der Wirtschaftlichkeit erörtert. Es wird auf heutige Daten zurückgegriffen, aber es werden auch die **Aussichten** kurz andiskutiert.

Wirtschaftlichkeitsüberlegungen werden beim Einsatz von Trolleybussen aber nicht nur „absolut“ angestellt, sondern oft in Relation zu konkreten Alternativen. Hauptkonkurrent für Trolleybusse sind Dieselbusse. Deshalb werden im folgenden die Wirtschaftlichkeitsaspekte **in Relation zum Dieselbus** gestellt.

Die Ausführungen zur betriebswirtschaftlichen Seite gründen auf Unterlagen der Verkehrsbetriebe Winterthur, der Verkehrsbetriebe Luzern und der Verkehrsbetriebe Zürich sowie auf Erfahrungen der Metron Verkehrsplanung AG und eigenen Berechnungen.

2 Betriebswirtschaft: die Kostenseite

2.1 Investitions- und Kapitalkosten

Die Kosten für die Benützung der Strasse werden im ganzen folgenden Dokument ausgeklammert. Sie wären in beiden betrachteten Alternativen identisch. Die Investitionskosten für Trolleybus-Systeme sind deutlich höher als in Dieselbusse, wie folgende Tabelle zeigt. Sie gründet auf einem konkreten Fall in **Winterthur/Schweiz**, wo entsprechende Überlegungen für die Linie 4, einen Rundkurs von ca. 4.5 km Länge und 10-Minutentakt angestellt worden sind. Allerdings wurden die Zahlen leicht modifiziert, u.a. um damit linienspezifische Kosten zu eliminieren. Zudem wurde auch gefragt, erstens mit welchen Kosten für eine Neuanlage zu rechnen ist und zweitens, mit welchen Kosten bei einem 5-Minuten-Takt zu rechnen ist.

Es ist mit folgenden Investitionskosten zu rechnen:

		Dieselbus	Trolleybus	
in Mio. €			Ersatz	Neuanlage
Fahrzeuge	10 Min.-Takt	0.7	1.0	1.0
	5 Min.-Takt	1.4	2.0	2.0
Leitung			0.4	1.5
Total	10 Min.-Takt	0.7	1.4	2.5
	5 Min.-Takt	1.4	2.4	3.5

*Tabelle 1:
Investitionskosten in Dieselbusse resp. ein Trolleybus-System für einen Rundkurs mit 5- resp. 10-Minuten-Takt, Ersatz- und Neuanlage
Quelle: EBP 2002, VBL 2002, VOEV 2005, eigene Annahmen*

Gerade bei der Fahrleitung können die Kosten enorm vom eingesetzten Mittelwert abweichen. Am günstigsten sind Fahrleitungen in geraden Häuserschluchten, am kostspieligsten sind kurvige und Strecken in coupiertem freiem Gelände. Auch Weichen sind kostspielig, erlauben aber möglicherweise auch die Nutzung gemeinsamer Streckenabschnitte durch mehr als eine Trolleybuslinie.

Die Zahlen zeigen indessen klar: bezüglich **Investitionsaufwand sind Trolleybusse sehr viel teurer als Dieselbusse**. Trolleybusse sind

- 3.5 mal so teuer wie Dieselbusse bei einer Neuanlage und 10-Min.-Takt
- 2.5 mal so teuer bei einer Neuanlage und 5 Min.-Takt
- 2 mal so teuer bei einer Ersatzbeschaffung und 10 Min.-Takt
- 2.5 mal so teuer bei einer Ersatzbeschaffung und 5 Min.-Takt

Ist bei diesen krassen Befunden das Thema Wirtschaftlichkeit für den Trolleybus schon erledigt? Nein.

Leider sehen aber viele Leute, insbesondere PolitikerInnen, oft nur diese eine Zahl und schliessen voreilig, dass Trolleybusse unwirtschaftlich sind. Eine seriöse Betrachtung darf diese Zahlen aber nur zur Grundlage nehmen für weitere Wirtschaftlichkeitsüberlegungen.

Die Investitionskosten sind die Grundlage für die **Kapitalkosten** aus Verzinsung und Amortisation. Die anrechenbaren Kapitalkosten hängen stark ab von folgenden Faktoren:

- Abschreibungsdauer: je länger die wirtschaftliche Lebensdauer, desto geringer fällt die jährliche Belastung aus Verzinsung und Amortisation aus, die Differenz zwischen Trolleybussen und Dieselbussen verringert sich
- Zinssatz: je tiefer der Zinssatz, desto geringer fällt die Verzinsung der Investitionskosten aus, die Differenz zwischen Trolleybussen und Dieselbussen verringert sich nochmals

Ist die Lebensdauer von Dieselbussen und Trolleybussen unterschiedlich, d.h. diejenige von Trolleybussen höher, dann würde sich die Wirtschaftlichkeitsrechnung nochmals zugunsten des Trolleybusses verbessern.

Genau dies ist der Fall: **Trolleybusse werden in der Regel in längeren Zeiträumen abgeschrieben als Dieselbusse.** Die Abschreibungspraxis ist indessen nicht einheitlich. Konkret sind Abschreibungsdauern von 10 und 15 Jahren für Dieselbusse, von 15 und 20 Jahren für Trolleybusse bekannt.

Variiert man die verschiedenen Parameter, öffnet sich ein weites Feld von Kostenangaben. Die folgenden Rechnungen wurden auf der Basis von Gelenkbussen vorgenommen.

Fall	Amortisationsdauer (Jahre)			Zinssatz (%)	Takt in Min.	Kosten Trolleybus (Dieselbus=100)
	Dieselbus	Trolleybus	Fahrleitung			
Ersatz (mittlerer Fall)	12	17	22	4	10'	147
Ersatz	15	15	22	5	10'	188
Ersatz	10	20	22	3	10'	112
Neuanlage (mittlerer Fall)	12	17	22	4	10'	249
Ersatz (mittlerer Fall)	12	17	22	4	5'	129
Ersatz	15	15	22	5	5'	165
Ersatz	10	20	22	3	5'	97
Neuanlage (mittlerer Fall)	12	17	22	4	5'	180

Tabelle 2: Kapitalkosten für eine Trolleybuslinie unter unterschiedlichen betrieblichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Dieselbus = 100)

In Tabelle 2 wurden dem mittleren Fall eine für den Trolleybus sehr günstige und eine sehr ungünstige Kombination von Annahmen gegenübergestellt:

- günstiger Fall: kurze Abschreibungsdauer beim Dieselbus, lange Abschreibungsdauer beim Trolleybus, tiefer Zinssatz
- ungünstiger Fall: lange Abschreibungsdauer beim Dieselbus, kurze Abschreibungsdauer beim Trolleybus, hoher Zinssatz

Tabelle 2 lässt folgende Schlüsse zu:

- die Kapitalkosten für den Trolleybus sind unter den günstigsten Annahmen identisch mit denjenigen für den Dieselbus (- 3%)
- für den 10-Min.-Takt schwanken die Mehrkosten je nach Annahmen zwischen 12% und 88% für den günstigsten resp. ungünstigsten Fall, in einem mittleren Fall sind es ca. 47% (bei Ersatzanlagen)
- mit dem 5-Minuten-Takt sinken die Mehrkosten auf 0% bis 65% gegenüber dem Dieselbus
- die Neuanlagen sind mit mittleren Annahmen für Amortisationsdauer und Zinssatz 150% beim 10-Min.-Takt und 80% beim 5-Min-Takt höher. Der höhere Takt entlastet die Kapitalrechnung mehr als bei einer Ersatzinvestition.

Die Zahlen zeigen: **nur schon die Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensdauern für Trolley- und Dieselbusse korrigiert das Kostenbild aus der reinen Betrachtung des Investitionsaufwands erheblich.**

2.2 Betriebs- und Unterhaltskosten

Tabelle 3 zeigt die fixen und variablen Betriebskosten für Diesel- und Trolleybus.

	Dieselbus	Trolleybus
	€ pro Fzkm	
Fixe Betriebskosten ohne Leitung	0.27	0.33
Fahrleitung		0.27
Total fixe Betriebskosten	0.27	0.60
Strom- resp. Treibstoffkosten	0.20 - 0.25	0.20 - 0.23
Übrige variable Kosten	0.47	0.47
Personalkosten	3.67	3.67
Total variable Betriebskosten	4.33 - 4.39	4.33 - 4.36
Total variable und fixe Betriebskosten	4.60 - 4.65	4.93 - 4.96

Tabelle 3:
Betriebs- und Unterhaltskosten für Dieselbusse
und Trolleybusse
Quelle: EBP 2002 und eigene Berechnungen

Interessant ist an dieser Zusammenstellung:

- die Personalkosten dominieren alle andern Kostenbestandteile bei weitem. Sie unterscheiden sich nicht zwischen Dieselbus und Trolleybus.
- die periodische Erneuerung des Fahrdrahts macht den wesentlichen Unterschied zwischen Dieselbus und Trolleybus aus, verteuert aber den Betrieb nur um ca. 6%.
- die Wahl von Green Diesel zur Verbesserung der Umweltbilanz des Dieselbus (Kosten von ca. 5 Cts. pro Fzkm) fällt ebenso wenig ins Gewicht wie die Kosten für die Verwendung von Strom aus erneuerbarer Wasserkraft (ca. 3 Cts. pro Fzkm).

Damit sind nun alle Elemente für eine integrale Betrachtung der Kostenseite beieinander.

2.3 Kosten: Gesamtübersicht

Die Zusammenstellung über die Kapitalkosten und die Betriebskosten erlauben nun eine Gesamtsicht (Tabelle 4):

Kostenkategorie	Dieselbus	Trolleybus
	€ pro Fzkm	
1. Fixe Betriebskosten	0.27	0.60
2. Variable Betriebskosten	4.33 - 4.39	4.33 - 4.36
3. Investitionskosten/Kapitalkosten (mittlerer Fall ¹)		
Ersatzinvestition 10 Min.-Takt	0.45	0.67
Ersatzinvestition 5 Min.-Takt		0.58
Neuanlage 5 Min. Takt		0.81
Gesamte Kosten (Vollkosten, mittlerer Fall))		
Ersatzinvestition 10 Min.-Takt	~ 4.81	~ 5.01
Ersatzinvestition 5 Min.-Takt		~ 4.92
Neuanlage 5 Min. Takt		~ 5.15
Index der Gesamtkosten, wenn Dieselbus = 100		
Ersatzinvestition 10 Min.-Takt	100	104
Ersatzinvestition 5 Min.-Takt		102
Neuanlage 5 Min. Takt		107

Tabelle 4:
Zusammenstellung über die Vollkosten von Trolleybus
und Dieselbus in Euro pro Fzkm

¹ Zinssatz 4 %, Amortisationsdauer Dieselbus 11 Jahre, Trolleybus 16 Jahre

Tabelle 4 und die Aussagen vorher zeigen ein recht verlässliches Bild über Höhe und Zusammensetzung der Vollkosten für den Trolleybus und den Dieselbus und deren Relation:

- **der Trolleybus verursacht, auf einer vergleichbaren Kostenbasis betrachtet, ca. 5 bis 10% Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus.**
- Diese Mehrkosten hängen zwar von den Zinssätzen und den Amortisationsdauern ab. **Wegen der Dominanz der Betriebskosten variieren die prozentualen Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus aber nur um wenige Prozent.**
- Auch die Neuanlagen bewegen sich – mit einer Verschiebung um gut 5% nach oben – in diesem Rahmen.

2.4 "Verborgene" Kosten des Trolleybusses

Dem Trolleybus werden zwei grosse betriebliche Nachteile nachgesagt, deren Bedeutung aber zu relativieren ist:

- mangelnde Flexibilität, weil sein Betrieb leitungsgebunden ist
- Probleme der Betriebsreserve bei Netzunterbrüchen

Tatsächlich erweisen sich der Dieselbus und der Dieselbusbetrieb in Störfällen als flexibler. Bei einem länger dauernden Netzunterbruch fällt die gesamte Trolleyflotte aus. Solche Unterbrüche sind aber sehr selten und dürften über die gesamte Betriebszeit im Bereich von Bruchteilen von Promillen liegen. Unterbrüche im Trambetrieb zeigen, dass das Verständnis der KundInnen in solchen Situationen bei guter Information ausgeprägt ist.

Gewisse Unterbrüche sind planbar wie bspw. Strassenerneuerungen. Solche Unterbrüche von wenigen Tagen können aber bspw. in Sommermonate mit ausgedünnten Fahrplänen und entsprechender betrieblicher Reserve bei den Dieselbussen gelegt werden.

3 Kundennutzen: "Die Schienen am Himmel"

Kann der Trolleybus seinen Kostennachteil von 5 bis 10% am Markt wett machen? Sollte die Zahlungsbereitschaft für den Trolleybus, oder mit andern Worten, sollten die Benützerzahlen beim Trolleybus für den gleichen Fahrpreis höher sein, dann kann er seinen kostenmässigen Nachteil auf der Ertragsseite eventuell ausgleichen.

Es gibt tatsächlich Indizien, dass der **Trolleybus vom Markt anders wahrgenommen** wird als der Dieselbus. Da sind zuerst die offensichtlichen Unterschiede zum Dieselbus:

- durch die Leitungen hat der Trolleybus und damit der ÖV eine ständige **visuelle Präsenz** im öffentlichen Raum
- die sichtbare Linienführung macht die **Erreichbarkeiten mit dem ÖV besser merkbar**

Dass der Trolleybus von den VerkehrsteilnehmerInnen anders wahrgenommen wird als der Dieselbus zeigt sich u.a. auch darin, dass der Trolleybus viel weniger in Unfälle ver-

wickelt ist als der Dieselbus (s. auch das übernächste Kapitel). Die Prämien für die Haftpflichtversicherung von Trolleybussen sind halb so hoch wie diejenigen von Dieselbussen (Quelle: EBP 2002).

Der Trolleybus hat von der Marktpräsenz her eher **Attribute des Trams**. „**Der Trolleybus hat seine Schienen am Himmel**“.

Von der Marktseite her gesehen ist die Wahl zwischen Trolleybus und Dieselbus nicht die Wahl zwischen Fahrzeugalternativen, sondern eher von Systemalternativen. Der Trolleybus ist ein eigenes System zwischen Dieselbus und Tram.

Frankreich hat als erstes Land gezielt auf diese Analogie gesetzt - viele sind diesem Beispiel gefolgt. Busse mit elektrischer Traktion, Spurführung und modernem Design schaffen einen Kontrast zum konventionellen Bussystem und kreieren ein eigenes Image für den Trolleybus, das sich am System Tram orientiert. Die Affinität von Tram und Trolleybus hat auch einen historischen Hintergrund: in Zürich, Luzern und Schaffhausen bspw. sind die Trolleybusse als **Ersatz für Tramlinien** eingerichtet worden.

Aus dieser Sicht ist der Trolleybus „am Markt etwas wert“. Dieser Wert ist aber schwierig auf Euro und Cents zu beziffern.

Von daher muss offen bleiben, in welchem Mass die Mehrkosten auf der Ertragsseite teilweise, ganz oder sogar überkompensiert werden. Empirische Studien sind uns nicht bekannt, wären aber ein interessantes Feld für die Marktforschung im Verkehr.

Eine Einschränkung muss allenfalls bezüglich Komfort gemacht werden: die längere Amortisationsdauer bei Trolleybussen kann in den letzten Jahren der Lebensdauer dazu führen, dass ein gewisser Rückstand in der Innenausstattung und im Fahrkomfort (z.B. Stichwort „Niederflur“) gegenüber neuen Dieselbussen besteht. Erneuerungsmassnahmen können aber dieses Manko – wenn auch zu gewissen Kosten – teilweise vermindern helfen.

4 Aussichten

Ändert sich an den Kostenverhältnissen oder am „Marktwert“ des Trolleybusses in der kommenden Zeit etwas? Kaum, denn erstens dominieren in beiden Systemen die variablen Betriebskosten – und die sind praktisch identisch. Aber auch bei den Investitionskosten sind kaum unterschiedliche Entwicklungen zu erwarten:

- Der **Wettbewerb unter den Anbietern von Trolleybussen** ist beschränkt und wird sich kaum verändern: weitere Konzentrationen werden auf Widerstand bei den Wettbewerbsbehörden stossen und mehr Anbieter werden kaum in diesen Kleinserienmarkt einsteigen. Von daher ist in Zukunft kaum mit günstigeren Fahrzeugen zu rechnen.
- Interessanterweise ist die Situation bei den **Dieselbussen** kaum anders.
- Schwierig einzuschätzen ist die europaweite Wettbewerbssituation bei den Anbietern von **Fahrleitungsausrüstungen**. In der Schweiz bspw. ist die Wettbewerbssituation prekär.

- **Technische Normen als Hindernisse?** Mehr Konkurrenz im Angebot von Fahrleitungssystemen kommt aber umso weniger in Gang als allenfalls unterschiedliche technische Normen und Sicherheitsvorschriften in den einzelnen Ländern den Markt bis zu einem gewissen Grad schützen und den Markteinstieg für ausländische Anbieter u.U. erheblich verteuern.
- Eine gewisse Marktverzerrung oder Marktbehinderung kann auch durch eine **unterschiedliche rechtliche Behandlung** von Trolleybuslinien und konventionellen Linien begründet sein.
- Unvorteilhaft für den Trolleybus bleibt es auch, wenn bei den Betreibergesellschaften von Buslinien weiterhin rein **betriebswirtschaftliches Denken** dominiert. Insbesondere bei möglichen Neuanlagen dürfte dann der Entscheid zu häufig gegen den Trolleybus gefällt werden.

Die Kosten werden sich in beiden Systemen nahezu parallel entwickeln. Allenfalls könnte sich die Bildung eines Beschaffungspools von Trolleybusunternehmen lohnen. Einerseits kann mit einem gemeinsamen Design und einer gemeinsamen Ausgestaltung und Ausstattung das Image des Trolleybus weiter entwickelt werden. Andererseits können über diesen Pool die Fahrzeugkosten gesenkt werden.²

5 Externe Kosten: Vorteile für den Trolleybus

5.1 Die Kriterien

Die externen Effekte bzw. die externen Kosten spielen im Verkehr eine grosse Rolle. Diese Kosten schlagen sich zwar nicht in der betriebswirtschaftlichen Rechnung der Transportunternehmen nieder, wohl aber in der volkswirtschaftlichen Betrachtung durch die Allgemeinheit. Da die öffentliche Hand als Besteller von Transportleistungen der grösste Kunde ist, sind Einsparungen bei den externen Kosten ein wesentliches Verkaufsargument – ganz abgesehen von einer sensibilisierten Bevölkerung, die sich ihr Image vom ÖV nicht zuletzt über die externen Effekte der eingesetzten Verkehrsmittel bildet.

Wenn das eine oder andere Verkehrsmittel – Dieselbus oder Trolleybus – Vorteile in den externen Kosten geltend machen kann, verbessert dies nicht nur seine volkswirtschaftliche Bilanz, sondern verschafft ihm auch am Markt gewisse Vorteile – sei dies beim Besteller oder bei den VerkehrsteilnehmerInnen.

Folgende externe Effekte können im Falle von Trolleybus und Dieselbus als relevant angesehen werden:

- Energieverbrauch (Betriebsenergie und graue Energie)

² Die Unterschiede zwischen den Beschaffungskosten von Trolleybussen und Dieselbussen erscheinen nicht unbedingt plausibel.

- Ausstoss von Klimagasen
- Luftbelastungen mit Stickoxiden und Kohlewasserstoffen
- Lärmbelastungen von Passagieren wie von Dritten
- Unfallhäufigkeit und –schwere
- Elektrosmog
- Flächenverbrauch

Für die letzten beiden Effekte liegen unseren Wissens (noch) keine „offiziellen“ Abschätzungen und Vergleichsuntersuchungen vor.

Im folgenden werden die andern Aspekt erörtert. Dabei wird ein relativer Systemvergleich vorgenommen: Trolleybus, Dieselbus und Tram werden in Relation zum Personenwagen gestellt. Die Vergleiche beziehen sich immer auf **einen Personenkilometer** mit dem jeweiligen Verkehrsmittel. Sie sind also nachfragebezogen und nicht angebotsbezogen. Anschaulich dargestellt: dem Kunden/der Kundin wird gesagt „wenn du vor der Wahl stehst, deine Fahrt mit einem der aufgeführten Verkehrsmittel zu unternehmen, dann verursachst du damit x% der externen Kosten, die du mit dem PKW verursachen würdest“.

5.2 Ressourcenverbrauch: Energie

Abbildung 1 zeigt den Energieverbrauch von Trolleybus, Tram und Dieselbus im Vergleich mit dem Personenwagen. Der Energieverbrauch berücksichtigt sowohl die Energie für den Betrieb der Fahrzeuge wie die graue Energie, die in den Betriebsausrüstungen (Fahrzeuge resp. Fahrzeuge und Schiene beim Tram – aber in allen Fällen ohne graue Energie der Fahrbahn) steckt.

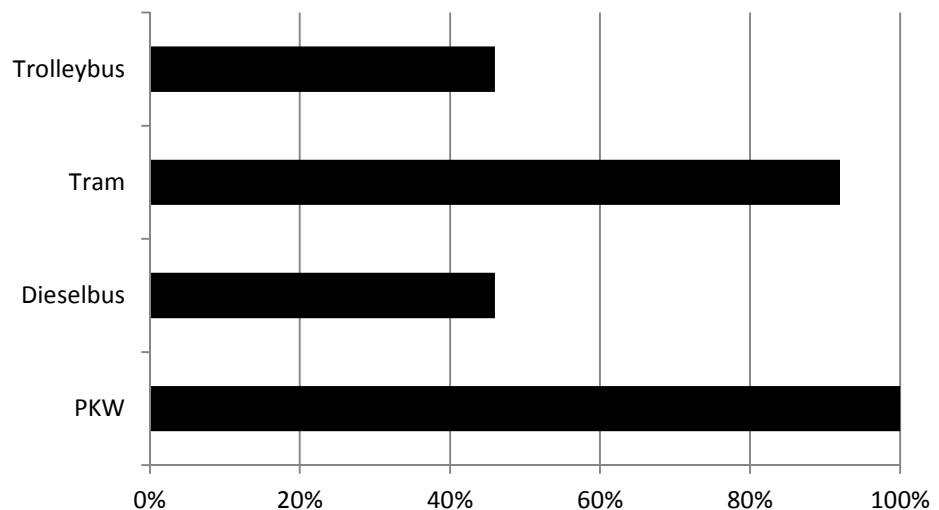


Abbildung 1:
Energieverbrauch von Trolleybus, Tram und Dieselbus
im Vergleich mit demjenigen des Personenwagens (= 100)
Quelle: Vaucher 2003 und eigene Berechnungen

Die Übersicht zeigt Trolleybus und Dieselbus etwa gleich auf, bei 40% des Energieverbrauchs des PKWs. Es handelt sich um eine rein „numerische“ Energiebetrachtung. Woher die Energie stammt, spielt hier (noch) keine Rolle. Dies wird in Kapitel 5.6 erörtert.

5.3 Ausstoss von Klimagasen

Abbildung 2 zeigt den Beitrag von Trolleybus, Tram und Dieselbus an die Klimaveränderung im Vergleich zu demjenigen des Personenwagens.

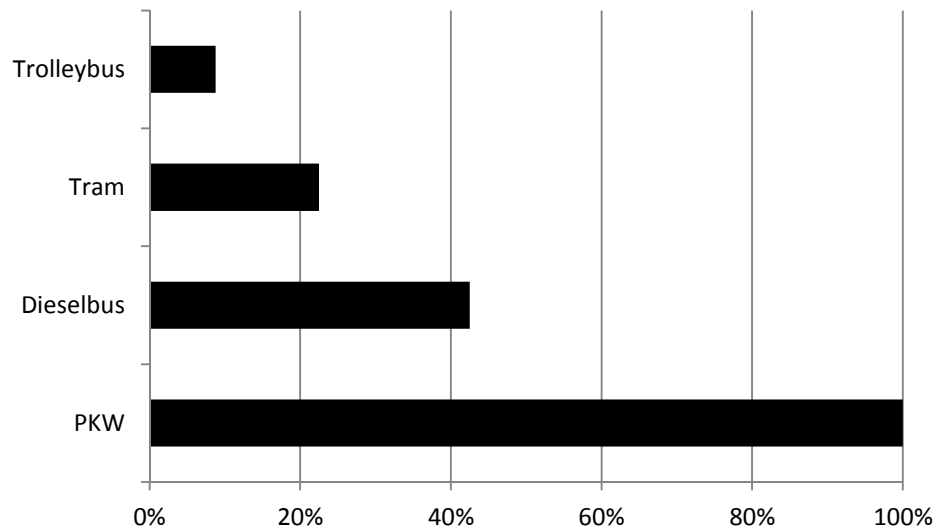


Abbildung 2:
Ausstoss von Klimagasen durch Trolleybus, Tram und Dieselbus
im Vergleich mit demjenigen des Personenwagens (= 100)
Quelle: Vaucher 2003 und eigene Berechnungen

Mit einem Beitrag von weniger als 10% des PKWs schneidet der Trolleybus besonders gut ab. Tram und Dieselbus verursachen einen mehr als doppelt resp. vier Mal so hohen Erwärmungseffekt. Hier wird die natürlich die Art der Bereitstellung der Energie für den Trolleybus bedeutsam (s.h.).

5.4 Emission von Luftschadstoffen

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen im Verkehrsmittelvergleich den Ausstoss von Stickoxiden, einem wichtigen Leitschadstoff für die Luftbelastung mit Schadstoffen und denjenigen von Kohlenwasserstoffen. In den Darstellungen sind wiederum die Schadstoffbelastungen aus der Produktion und dem Betrieb berücksichtigt. Für die Gegenüberstellung wurden die Daten von Vaucher (2003) korrigiert, sodass die betrieblichen Schadstoffkomponenten auf den Abgaswerten der Norm EURO V basieren.

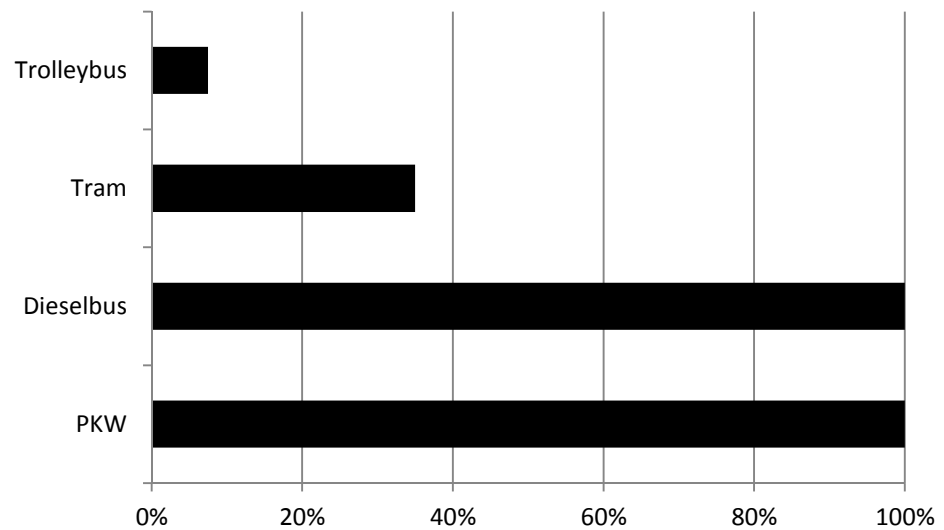


Abbildung 3:
Ausstoss von Stickoxiden durch Trolleybus, Tram und Dieselbus im Vergleich mit demjenigen des Personen-wagens (= 100)
Quelle: Vaucher 2003 und eigene Berechnungen

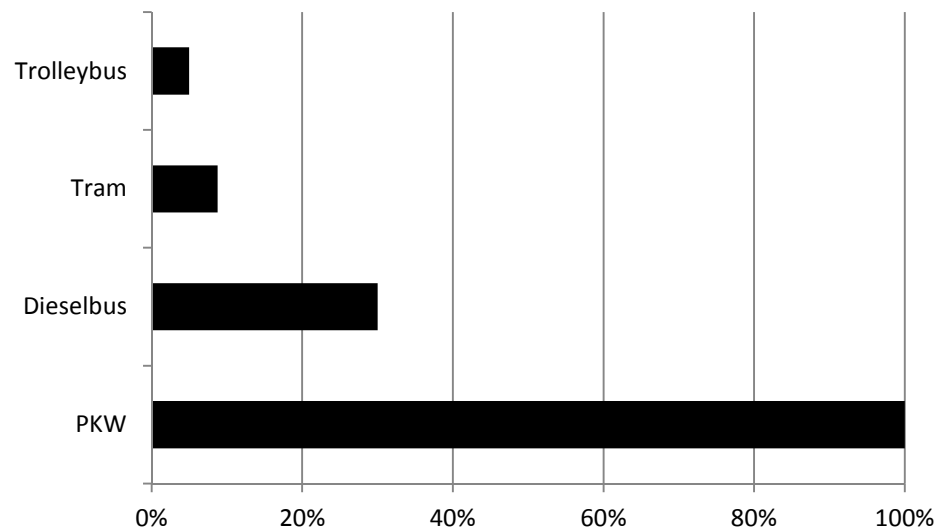


Abbildung 4:
Ausstoss von Kohlenwasserstoffen durch Trolleybus, Tram und Dieselbus im Vergleich mit demjenigen des Personenwagens (= 100)
Quelle: Vaucher 2003 und eigene Berechnungen

In beiden Darstellungen schneidet der Trolleybus am besten ab:

- Bei den Stickoxyden liegt der Trolleybus um den Faktor 10 vor dem Dieselbus.
- Bei den Kohlenwasserstoffen steht der Trolleybus ebenfalls deutlich besser da (Faktor 5).

Nicht unerheblich ist auch die Komponente der **räumlichen Verteilung** der Schadstoffemissionen. Der Dieselbus verursacht seine Emissionen genau dort, wo die Vorbelastung durch PKWs und Heizanlagen am höchsten ist: in den Städten. Demgegenüber

kann erwartet werden, dass die Luftbelastung durch die Bereitstellung von Strom aus fossiler Primärenergie eher in ländlichen Räumen anfällt. Letztlich massgebend ist aber die Immissionssituation. Es kann erwartet werden, dass diese in den Städten viel kritischer ist als dort, wo der Strom produziert wird.

5.5 Lärmbelastung

Abbildung 5 zeigt, welche Lärmbelastungen von einem Personenkilometer Fahrt mit verschiedenen Verkehrsmitteln im Vergleich mit dem PKW ausgehen.

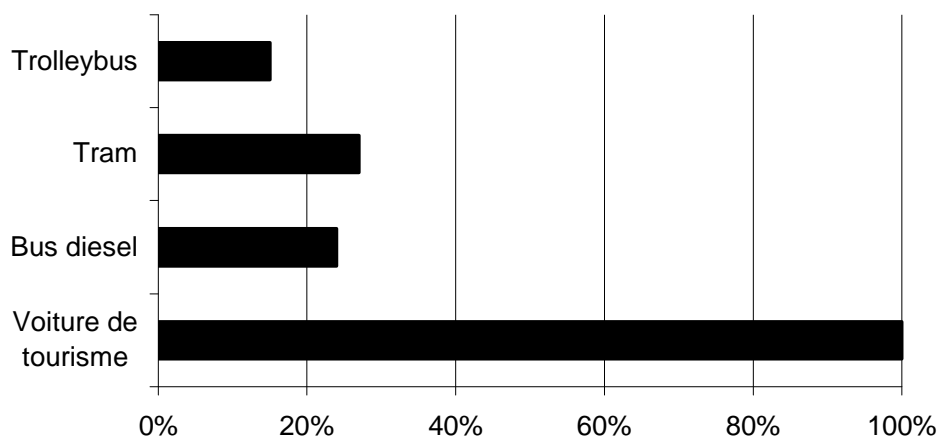


Abbildung 5:
Die Lärmbelastung durch Trolleybus, Tram und Dieselbus im Vergleich mit derjenigen durch den Personenwagens (= 100)
Quelle: Vaucher 2003

Der Trolleybus zeigt die besten Werte. Tram und Dieselbus sind ca. um einen Faktor 1.5 schlechter, aber immer noch bei weitem besser als der PKW. Dieses Resultat rührt von der hohen Auslastung der öffentlichen Verkehrsmittel her. Ein Dieselbus mag zwar mehr Lärm verursachen als ein PKW. Aber für das gleiche Transportaufkommen braucht es mehrere Fahrzeuge - die Lärmbelastung ist etwas geringer, dauert aber viel länger an.

5.6 Der Einfluss der Stromerzeugung

Der Ausstoss von Klimagasen und Luftschadstoffen, der dem Trolleybus zugerechnet werden muss, hängt erheblich von der Art der Stromproduktion ab. In der Regel wird den Berechnungen der Mix des europäischen Stromverbundes zugrunde gelegt. Der Kraftwerkpark des europäischen Stromverbundes umfasst sowohl fossile Stromproduktion wie solche aus Wasserkraftwerken, Kernenergie und alternativen Energien wie Windkraft etc. Die Anwendung dieses Mixes ist aber oft kontrovers. Gelegentlich werden auch nationale Kraftwerkparke als Grundlage gefordert. Wie sehr der Vergleich verschiedener Verkehrsmittel hinsichtlich des Ausstosses an CO₂, Stickoxiden, Schwefeloxiden und Partikel (PM) von der Art der Energieerzeugung abhängig ist, zeigt folgende Abbildung 6.

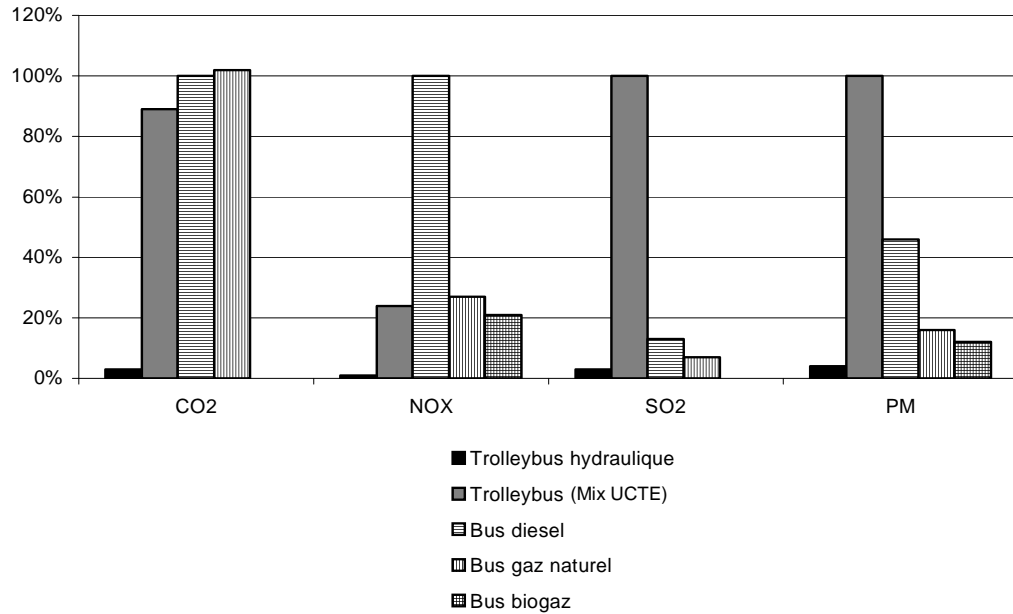


Abbildung 6:
 Einfluss der Energieerzeugung auf den Vergleich
 verschiedener Bustypen bezüglich Schadstoffemissionen
 Quelle: Vaucher 2003

Hier ist nicht ein Vergleich mit dem PKW gezeigt, sondern ein relativer Vergleich innerhalb der betrachteten Bustypen. Daraus geht hervor, dass Strom aus Wasserkraft als Antriebsenergie die weitaus besten Charakteristiken ausweist.

5.7 Unfälle

Abbildung 7 zeigt die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere verschiedener Verkehrsmittel. Dabei ist zu beachten, dass die Zahl der Verletzten absolut gesehen ca. **50 x höher** liegt als die Zahl der Todesopfer. Der Vergleich beruht auf der Basis Personenkilometer (Pkm).

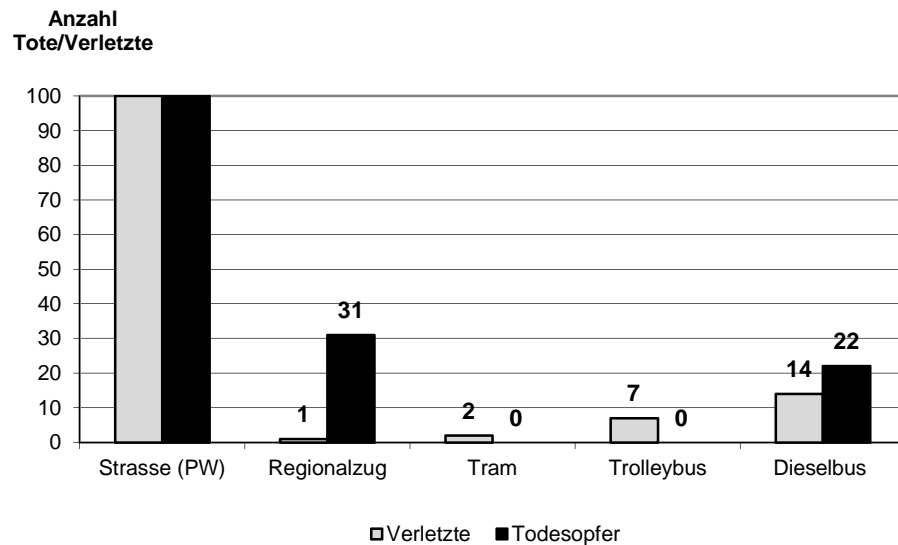


Abbildung 7:
Vergleich in der Unfallhäufigkeit und -schwere
zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln (PKW = 100)
Quelle: Infrac 1997

Diese Übersicht illustriert sehr deutlich die Feststellung von der **unterschiedlichen Wahrnehmung von Trolleybus und Dieselbus und vom Systemcharakter des Trolleybus: die Unfallcharakteristiken des Trolleybus sind viel mehr mit denjenigen des Trams als mit denjenigen des Dieselbusses vergleichbar.**

5.8 Externe Kosten: der Trolleybus im Vorteil

Aus all diesen Grundlagen lässt sich zumindest ein klares Fazit ziehen: **In der volkswirtschaftlichen Rechnung verbessert sich das Ergebnis des Trolleybusses gegenüber dem Dieselbus weiter.**

Inwiefern die Vorteile bei den externen Kosten den Nachteil des Trolleybus an monetären Kosten überkompensieren, muss im Moment dahingestellt bleiben. Letztlich hängt diese Wertung – abgesehen natürlich von den jeweiligen Investitionskosten - vor allem davon ab:

- wie gravierend die Belastung mit Luftschadstoffen im Betrachtungsraum ist,
- wie der Strom für die Trolleybusse produziert wird.
- welche Bedeutung die politischen Entscheidungsträger den ökologischen Aspekten beimessen.

Die Diskussion über die externen Kosten ist noch nicht zu Ende geführt. Es ist sehr wohl möglich, dass sich in der Einschätzung der ökologischen Vor- und Nachteilen von Trolleybus und Dieselbus noch Verschiebungen ergeben können. Man kann aber sagen, dass heute diese Effekte (und damit auch die Differenzen zwischen den Bustypen) aus wissenschaftlicher Vorsicht eher unterschätzt werden.

6 **Schlussfolgerungen**

Folgende Schlussfolgerungen können heute gezogen werden:

1. Trolleybusse lohnen sich wegen der beträchtlichen Investitionen in Fahrleitungen im allgemeinen nur bei kurzen Taktfolgen, z.B. mind. 10-Minuten-Takt und damit auf aufkommensstarken Linien.
2. Die Bilanz aller Wirtschaftlichkeitsaspekte zwischen dem Dieselbus und dem Trolleybus ist recht ausgeglichen:
 - Kostenmässig ist der Trolleybus gegenüber dem Dieselbus um ca. 5 bis 10% im Nachteil. Bei Ersatzanlagen sind es eher nur 5%, bei Neuanlagen eher 10%.
 - Bei den externen Kosten ist der Trolleybus im Vorteil.
 - Am Markt ist der Trolleybus ebenfalls vorteilhafter.
3. Je dichter die Taktfolge, desto geringer der kostenmässige Nachteil des Trolleybus.
4. Die entscheidende Frage dürfte der Markt sein: der Trolleybus hat eine bessere Marktpräsenz als der Dieselbus und kann so kommuniziert werden, dass er auch eine höhere Zahlungsbereitschaft bzw. mehr KundInnen generieren kann. Der Trolleybus wird **nicht als Fahrzeugalternative, sondern als Systemalternative** betrachtet.
5. Insofern ist der Entscheid für den Trolleybus oder für den Dieselbus ein **Systementscheid**. So wie es auch der Entscheid zwischen dem Trolleybus und dem Tram ein Sytementscheid ist.
6. Dies bedeutet auch, dass für den Trolleybus ein **anderer Marktauftritt** gesucht werden soll. Trolleybuslinien müssen ähnlich wie Tramlinien kommuniziert werden. Dies betrifft die Gestaltung von Informationsmaterial (Trolleybusse hervorheben wie Tramlinien) über das Design der Trolleybusse bis allenfalls zur Gestaltung der Haltestellen.

7 Literatur

Ernst Basler Partner, Systemvergleich Trolley – Dieselbus – Studie für die Buslinie 4 in Winterthur, im Auftrag der Winterthurer Verkehrsbetriebe, 17. Juli 2002
Infras, Umweltindikatoren im Verkehr, GVF-Bericht 1/97, Bern 1997
Infras/econcept/Prognos, Die vergessenen Milliarden, Bern/Stuttgart/Wien 1996
Vaucher Christoph (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL), Apport du trolleybus à la protection de l'environnement, Vortrag anlässlich der 20. schweizerischen Trolleybustagung (VöV-Fachtagung) in Luzern, 10. September 2003
VBZ, Kalkulationssätze für Fahrleistungen 2001/2002, Zürich 23. Aug. 2001
Zweckverband ÖVL, Trolleybusse auf ÖVL-Gebiet – Diverse Unterlagen zur Medienkonferenz vom 20. September 2002