

Trolleybus Luzern:
Trolleybusstrategie



Luzern, 12. Februar 2013

Verkehrsverbund Luzern
Seidenhofstrasse 2 · Postfach 4306
6002 Luzern

Impressum

Auftraggeber	Verkehrsverbund Luzern
Auftragnehmer	ewp bucher dillier AG Luzern
Geschäftsbereich	Verkehrsplanung
Fachbereich	Öffentlicher Verkehr
Bereichsleiter	Arnd Bärsch Telefon 041 368 07 77 Fax 041 368 07 78 Telefon 052 354 22 41 arnd.baersch@ewp.ch
Projektleiter	Daniel Heer Telefon 041 368 07 77 Fax 041 368 07 78 Direktwahl 041 368 07 53 daniel.heer@ewp.ch
Auftragsnummer	70.06.12.713
Bearbeitung	Daniel Heer Arnd Bärsch Tomislav Kokot
Begleitgruppe	Roman Steffen, Verkehrsverbund Luzern Daniel Walker, Verkehrsverbund Luzern Peter Schmidli, Umweltschutz Stadt Luzern (Mitarbeit Berichtsinhalte) Karl Vogel, Verkehrsplanung Stadt Luzern Ernst Schmid, vif Kanton Luzern Andreas Zemp, vbl Christian Zumsteg, vbl (Mitarbeit Berichtsinhalte)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung		5
1	Einleitung	6
	1.1 Ausgangslage	6
	1.2 Auftrag und Ziele	6
	1.3 Grundlagen	6
	1.4 Vorgehen und Projektorganisation	8
	1.5 Vernehmlassungsverfahren	8
2	Ausgangslage	9
	2.1 Netzentwicklung	9
	2.2 Angebot und Nachfrage	11
	2.3 Fahrzeuge	12
	2.4 Infrastruktur	13
	2.5 Umweltaspekte	14
	2.6 Politisches Umfeld	17
	2.7 Geplante Ausbauten Trolleybusnetz	19
	2.8 Vorschau ÖV-Bericht 2014-17	20
	2.9 Fazit	21
3	Städteübersicht	23
	3.1 Schweiz	23
	3.2 Europa	25
	3.3 Weltweit	25
	3.4 Fazit	26
4	Entwicklungen	27
	4.1 Energiesektor	27
	4.2 Fahrzeuge	27
	4.3 Fazit	33
5	Anforderungen in der Agglomeration Luzern	34
	5.1 Kriterien	34
	5.2 Systemreduktion	37
	5.3 Fazit	37
6	Vergleich Systeme	39
	6.1 Vergleich Hauptanforderungen	39
	6.2 Vergleich weiterer Themen	42
	6.3 Fazit	44
7	Folgerungen	46

7.1	Einsatzbereiche Trolleybus	46
7.2	Überlagerung mit bestehendem und künftigem Netz	47
7.3	Fazit	51

Zusammenfassung

Die Trolleybusstrategie beleuchtet die relevanten Fakten zum Trolleybus in Luzern und vergleicht diese mit dem bestehenden Trolleybusnetz und den in AggloMobil due vorgesehenen Ausbauten. Die Trolleybusstrategie wird vor jeder grösseren Angebotsplanung oder mindestens alle zehn Jahre erneuert.

Die nachfragestärksten Buslinien des Kantons Luzern werden als Trolleybuslinien betrieben. Diese Linien bilden gewissermassen das Kernnetz des öffentlichen Agglomeration- und Stadtverkehrs und weisen einen überdurchschnittlich hohen Kostendeckungsgrad auf. Die heutigen Trolleybusinfrastrukturen und Fahrzeuge besitzen dank laufender Erneuerung und Ersatzbeschaffungen eine grosse Wertigkeit.

Insbesondere entlang der Hauptachsen und in der Innenstadt sind hohe Lärm- und Luftschadstoffmissionen messbar. Es besteht der politische Wille und mit der Umweltschutzgesetzgebung zudem der Auftrag, diese Belastungen zu reduzieren. Der Trolleybus mit lokal sehr geringen Emissionen unterstützt diese Bestrebungen und leistet damit einen Beitrag zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Ziele von Kanton und Stadt Luzern. Für den Verkehrsverbund Luzern ist das Trolleybusnetz zentraler Bestandteil für die Weiterentwicklung des öffentlichen Verkehrs in der Agglomeration Luzern.

Im Vergleich zu anderen Städten lässt sich kein global gültiger Trend bzgl. Entwicklung von Trolleybussystemen ausmachen, da allfällige Aus- oder Abbauten sehr stark vom jeweiligen Umfeld und den lokalen Rahmenbedingungen abhängig sind. Die Mobilität der Zukunft ist elektrisch und so schreitet die technische Entwicklung von elektrisch angetriebenen Bussen, sowohl von Trolley- wie auch Elektrobussen, voran. Hybridbusse sind eher als Zwischenlösung auf dem Weg von Diesel- zu Elektrobussen zu verstehen. Zudem gibt es verschiedene Konzepte im Versuchsstadium.

Folgende Anforderungen bestehen in der Agglomeration Luzern an das (Trolley-) Busliniennetz:

- Hohe Kapazität auf den Hauptachsen (Kapazität)
- Einsatz von betriebserprobten Fahrzeugen, gleichmässige Auslastung des Angebotes und gute Traktion auf Steigungen auch bei winterlichen Verhältnissen (Betrieb)
- Geringe Lärm- und Luftschadstoffmissionen (Umwelt)
- Effizienter Ressourceneinsatz, gute Gesamtwirtschaftlichkeit (Wirtschaftlichkeit)

Das Trolleybussystem erfüllt sämtliche Anforderungen, wogegen bei anderen Systemen wie Hybrid- oder Dieselnbussen und insbesondere den Systemen im Versuchsstadium Abstriche notwendig sind. Im direkten Vergleich zwischen Trolley- und Dieselnbussen können Trolleybusse insbesondere dort ihre Vorteile ausspielen, wo hohe Kapazitäten bereitgestellt werden müssen, bereits hohe Lärm- und Luftschadstoffmissionen vorherrschen und starke Steigungen befahren werden müssen. Grösster Nachteil des Trolleybussystems ist die Fahrleitung, welche sich u.a. auf (akzeptierbare) höhere Kosten und eine geringere Akzeptanz (Stadtbild) niederschlägt.

Das Luzerner Trolleybusnetz eignet sich auf den meisten Abschnitten ideal für den Einsatz von Trolleybussen. Ebenso sind die in AggloMobil due vorgesehenen Ausbauten Richtung Ebikon und Büttenenhalde schlüssig. Einzig bei der bestehenden Linie 4 Richtung Hubelmatt soll bei einem anstehenden Ausbau die Frage nach der richtigen Traktionsart gestellt werden. Über AggloMobil due hinausgehende Trolleybusnetzausbauten wären im Rahmen einer Stärkung von Durchmesserlinien zu prüfen.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Trolleybus ist in Luzern stark verankert. Das heutige Trolleybusnetz umfasst sechs Linien, welche teilweise zu den Bus-Hauptlinien des städtischen und Agglomerationsbusnetzes gehören. Die aktuelle Konzession des Bundes (Recht und Pflicht zum Betrieb des Trolleybusses) läuft noch bis 2016 und muss dann verlängert werden.

Das ÖV-Konzept AggloMobil due [2], welches im Agglomerationsprogramm Luzern, 2. Generation [3] eingebettet ist, sieht vor, die Linie 1 (Oberнау – Maihof) bis Ebikon Bahnhof bzw. Schindler zu verlängern und eine neue Trolleybuslinie 3 zwischen Kriens Busschleife und Emmenbrücke Seetalplatz einzuführen. Weiter ist langfristig die Umstellung der Linie 12 (Bahnhof – Littau) auf Trolleybus angedacht. Die Trolleybusverlängerung Richtung Bütteneu (Linie 6) ist beschlossen und die Plangenehmigung (und somit die Baubewilligung) liegt vor. Die Verlängerung dürfte per Dezember 2013 in Betrieb gehen.

Neue Trolleybusse müssen aufgrund der genannten Ausbauschritte sowie der ordentlichen Ersatzbeschaffungen angeschafft und Fahrleitungen neu erstellt werden.

Vielfach wird vor solchen Investitionsschritten die Traktionsart hinterfragt. Damit anstehende Ausbauprojekte rasch und losgelöst von den Traktions-Grundsatzfragen angegangen werden können und eine zuverlässige Basis für die Konzessionserneuerung gelegt werden kann, soll eine Strategie alle Themen rund um den Trolleybus sammeln und speziell für den Raum Luzern in einem kurzen Bericht behandeln.

1.2 Auftrag und Ziele

Der Verkehrsverbund Luzern beauftragte ewp bucher dillier AG Luzern mit der Erarbeitung der Trolleybusstrategie.

Die Trolleybusstrategie soll alle relevanten Fakten zum Trolleybus und denkbaren Alternativen benennen und mit Blick auf die Situation in Luzern behandeln. Die Trolleybusstrategie soll für die Periode bis zu einer nächsten grossen Angebotsplanung (wie AggloMobil due) oder für maximal 10 Jahren für die relevanten Folgeplanungen verbindlich sein. Die Trolleybusstrategie behandelt alle Grundsatzthemen, damit die Projektierung der Trolleybusinfrastruktur parallel laufen kann.

Der vorliegende Bericht stellt keine Strategie zu allen vorhandenen Traktionen dar, sondern zeigt primär, wie sich das vorhandene Trolleybussystem in Luzern weiter entwickeln kann. Allfällige Vergleiche zwischen den Traktionen beschränken sich auf das Bussegment, da die Nachfrage weiterhin mit dem Bussystem abgewickelt werden kann.

Die Trolleybusstrategie bezweckt keine Angebotsplanung. Diese wurde für den Zeithorizont bis 2018 bereits in AggloMobil due erarbeitet.

1.3 Grundlagen

[1] Auftrag Trolleybusstrategie, Verkehrsverbund Luzern, 30. Mai 2012

[2] AggloMobil due, Bericht für die Vernehmlassung, Metron im Auftrag VVL, 5. April 2012

- [3] AggloMobil due: Linie 1 / Linie 3, Weiteres Vorgehen, VVL, 24. Mai 2012
- [4] Agglomerationsprogramm Luzern 2. Generation, Bericht und Massnahmenblätter ÖV-6.1, ÖV-6.2 und ÖV-7, ecoptima im Auftrag des Kantons Luzern (rawi), 5. Juni 2012
- [5] Faktenblatt Doppelgelenkbusse, Entwurf 2, Verkehrsverbund Luzern, 26. Januar 2012
- [6] LUSTAT Jahrbuch 2012, Mobilität und Verkehr, Öffentlicher Verkehr, Januar 2012
- [7] Results of Life Cycle Assessment (Vergleich Energieverbrauch zwischen Traktionstypen Bus), EMPA, 2009
- [8] Medienorientierung 16 Trolleybusse für Luzern, vbl, 20. April 2008
- [9] vbl-Zeitung, Umweltfreundlich in die Zukunft mit dem Trolleybus, vbl, Mai 2011
- [10] Bericht der Arbeitsgruppe Trolleybus, Rechtliche, ökonomische und ökologische Abklärungen, Zweckverband ÖVL, 19. April 2002
- [11] Vor- und Nachteile moderner Trolleybusssysteme, Nahverkehrspraxis, 1/2 2012
- [12] Trolleybus Luzern, www.wikipedia.ch, Stand Juni 2012
- [13] Auszug aus dem Protokoll des Stadtrates von Zürich vom 21.03.2012, Trolleybus-Strategie, Zustimmung, Stadt Zürich, Stadtrat, 21.03.2012
- [14] Systemvergleich Trolley-, Diesel- und (Bio-)Gasbus, Ernst Basler + Partner, im Auftrag Stadtbus Winterthur, Dezember 2002
- [15] Zukünftige Zusammensetzung der VBSH-Busflotte, Infrac, im Auftrag Verkehrsbetriebe Schaffhausen, Juli 2008
- [16] Diesel-, Gas- oder Trolleybus?, Infrac, im Auftrag Kanton Basel-Stadt, Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt, Februar 2006
- [17] Mögliche Renaissance der Oberleitung, NZZ Online, 2. August 2012
- [18] Vergleiche Energieverbrauch, Grundlagen Umweltschutz Stadt Luzern, Juli 2012
- [19] Vorlesungsskript System- und Netzplanung Band 1.1, Prof. Dr. Weidmann, Okt. 2011
- [20] Übersicht Nachfrage TU 2011, Verkehrsverbund Luzern, 2012
- [21] Übersicht Fahrzeugkapazitäten, Entwurf, Verkehrsverbund Luzern, März 2012
- [22] Medienmitteilung Stadtbus Winterthur Hybrid-Gelenkbusse, 4. September 2012
- [23] Web-GIS des Bundesamtes für Umwelt, Stand September 2012
- [24] Emissionskataster Luft (ELVIS), Aufbereitung für Stadt Luzern, Umweltschutz und GIS Stadt Luzern, 28. November 2012
- [25] ÖV-Optimierung Luzern-Rental (Linie 1), Vertiefung Variantenstudium, AKP Verkehrsingenieur AG, im Auftrag vif Kanton Luzern, 15. Juni 2012
- [26] Bericht und Antrag an den Grossen Stadtrat von Luzern (StB 333, B+A 7/2011), Energie- und Klimastrategie Stadt Luzern, 13. April 2011
- [27] Angaben vbl, Stand November 2012
- [28] Messprotokolle Carrosserie Hess für Gelenktrolleybus (Vibrplast Akustik AG vom 15.04.2009) und Standarddieselbus (Dynamic Testcenter vom 27.01. bzw. 11.03.2011), Zusammenfassender Auszug Messprotokolle durch vbl, Dezember 2012
- [29] Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz, Stadtrat Luzern, 10. September 2008

1.4 Vorgehen und Projektorganisation

Die Erarbeitung der Trolleybusstrategie wurde vom Verkehrsverbund Luzern initiiert und wird durch diesen begleitet. Beteiligt sind die Dienstabteilung Verkehr und Infrastruktur des Kantons Luzern (vif), die Verkehrsbetriebe Luzern (vbl), das Tiefbauamt und die Dienstabteilung Umweltschutz der Stadt Luzern. Der vorliegende Bericht enthält Beiträge der vbl und der Dienstabteilung Umweltschutz der Stadt Luzern.

Die Trolleybusstrategie ist eine Grundlage für den ÖV-Bericht. Der Bericht erscheint alle zwei Jahre und zeigt dem Kantonsrat die kurz-, mittel- und langfristige Strategie, sowie vorgesehene Massnahmen bei Angebot und Infrastruktur.

1.5 Vernehmlassungsverfahren

Der Entwurf des vorliegenden Berichtes (Stand 7.12.2012) wurde allen beteiligten Organisationen zur Stellungnahme vorgelegt. Das vif steht der Traktion Trolleybus vor allem wegen der hohen Infrastrukturkosten skeptisch gegenüber und betrachtet die positive Beurteilung des Trolleybussystems in der Strategie teilweise als zu einseitig. Sie regen an, die Problematik vertiefter zu studieren. Die anderen Projektpartner begrüssen die vorliegende Strategie, welche sich vollständig mit den Vorgaben aus AggloMobil due und dem Agglomerationsprogramm der 2. Generation deckt. Die wesentlichen Inhalte der eingegangenen Stellungnahmen sind im Folgenden zusammengefasst.

Stadt Luzern (Verkehrsplanung)

Die Strategie wird als Bestätigung der Angebotsplanung AggloMobil due begrüsst. Der vorgesehene Ausbau des Trolleybusnetzes (Angebot, Infrastruktur und Rollmaterial) wurde bereits im Stadtratsbeschluss StB 473 (23.5.2012) befürwortet.

Stadt Luzern (Dienstabteilung Umweltschutz)

Die vorliegende Strategie wird unterstützt. Der Trolleybus leistet einen wichtigen Beitrag zu den energie- und klimapolitischen Zielsetzungen von Kanton und Stadt Luzern.

Verkehrsbetriebe Luzern (VBL)

Die im ausführlichen Strategiebericht aufgezeigte Stossrichtung und die beschriebenen Einsatzgebiete des Trolleybussystems werden vollumfänglich unterstützt. Angeregt wird eine zeitnahe Diskussion der Ergebnisse mit den kantonalen Entscheidungsträgern (vif), um für anstehende Projekte einen konstruktiven Weg zu finden.

Verkehr und Infrastruktur (vif)

Die Zielsetzung einer 10 Jahre gültigen Strategie wird hinterfragt, da die Lebensdauer wesentlicher Infrastrukturen rund 30 Jahre beträgt. Eine fundierte Auslegeordnung aller Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des strassengebundenen ÖV in der Agglomeration Luzern wird vermisst, während das Trolleybusssystem als zu positiv beurteilt wird. Zu wenig Berücksichtigung finden nach Ansicht des vif insbesondere die hohen Kosten, die ungünstige Umweltbilanz der Primärenergie bei einem Schweizer Verbrauchermix sowie die städtebaulichen Probleme mit den Fahrleitungen. Angeregt wird eine vertieftere Betrachtung.

2 Ausgangslage

2.1 Netzentwicklung

Die erste Trolleybuslinie in Luzern wurde 1941 zwischen Bahnhof und Allmend in Betrieb genommen. Sie wurde ein Jahr später im Rahmen der Umstellung einer Autobuslinie bis zur Haltestelle Dietschiberg verlängert. Um 1960 herum wurden die einzigen beiden Tramlinien auf Trolleybusbetrieb umgestellt. Eine grössere Erweiterung erfuhr das Netz in den 60er-Jahren im Rahmen der Umstellung städtischer Quartierbuslinien. Um 1990 wurden an der Peripherie einzelne Linien verlängert.

Datum	Strecke	Heutige Linie	Bemerkungen
1941	Bahnhof – Allmend	teilw. 4	Neuerschliessung; Breitenlachen – Allmend seit 2005 eingestellt (alte Linie 5)
1942	Bahnhof – Dietschiberg	6 / 8	Umstellung von Autobus, bis 1930 Tram
1951	Luzernerhof – Zwysigplatz	7	Umstellung von Autobus
1959	Dietschiberg – Brüelstrasse	6 / 8	Umstellung von Autobus
	Kantonalbank – Emmenbrücke Central	2	Umstellung von Tram
1961	Pilatusplatz – Kriens Busschleife	1	Umstellung von Tram
	Luzernerhof – Maihof	1	Umstellung von Tram
1962	Breitenlachen – Hubelmatt	4	Neuerschliessung
1966	Bundesplatz – Biregghof	7	Umstellung von Autobus
	Wartegg – Matthof	6	Umstellung von Autobus
	Brüelstrasse – Würzenbach	6 / 8	Neuerschliessung
1986	Schönbühl – Hirtenhof	8	Umstellung von Autobus
1990	Kriens Busschleife – Obernau	1	Umstellung von Autobus
	Central – Emmenbrücke Sprengi	2	Neuerschliessung
2004	Zwysigplatz – Unterlöchli	7	Neuerschliessung

Tabelle 1: Übersicht Neueröffnungen Trolleybusstrecken [12]

Der historische Aufbau des Liniennetzes hielt bis 1998, worauf die Linien 6, 7 und 8 neu zu Durchmesserlinien verbunden und die Linien 2, 4 und 5 zu Radiallinien bis zum Bahnhof verkürzt wurden. Die einzigen vier Durchmesserlinien werden alle mit Trolleybussen geführt.

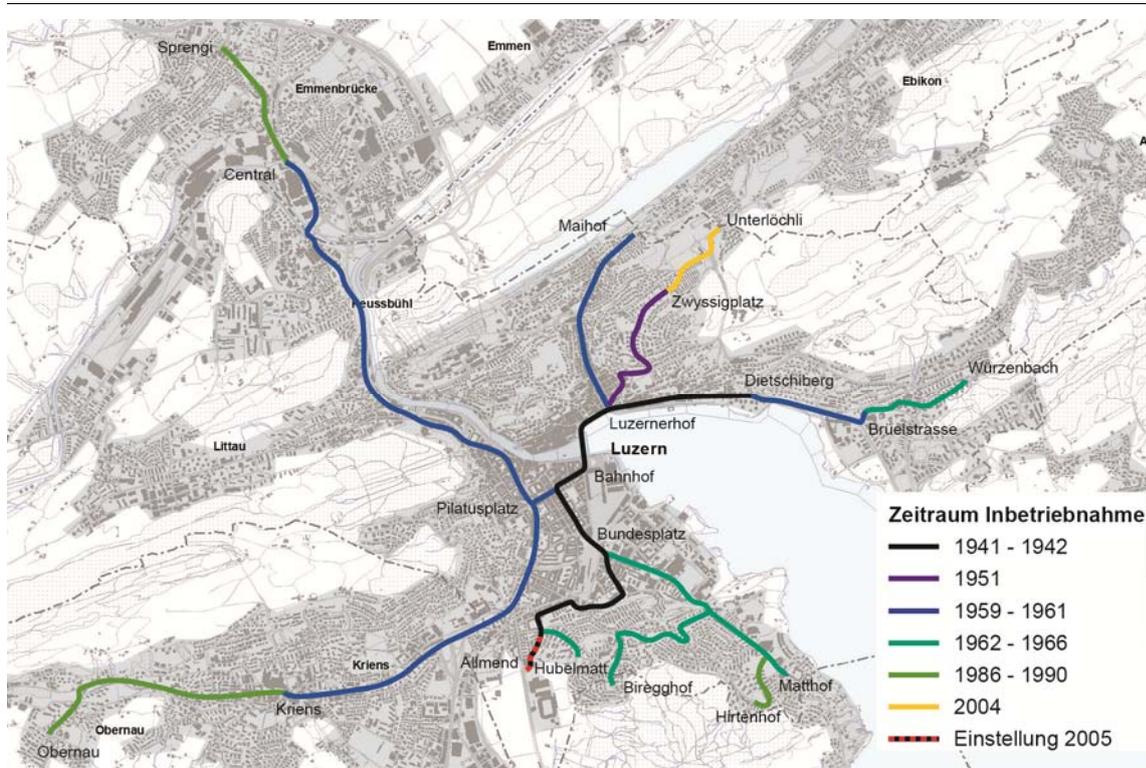


Abbildung 1: Übersicht Entwicklung Trolleybusnetz

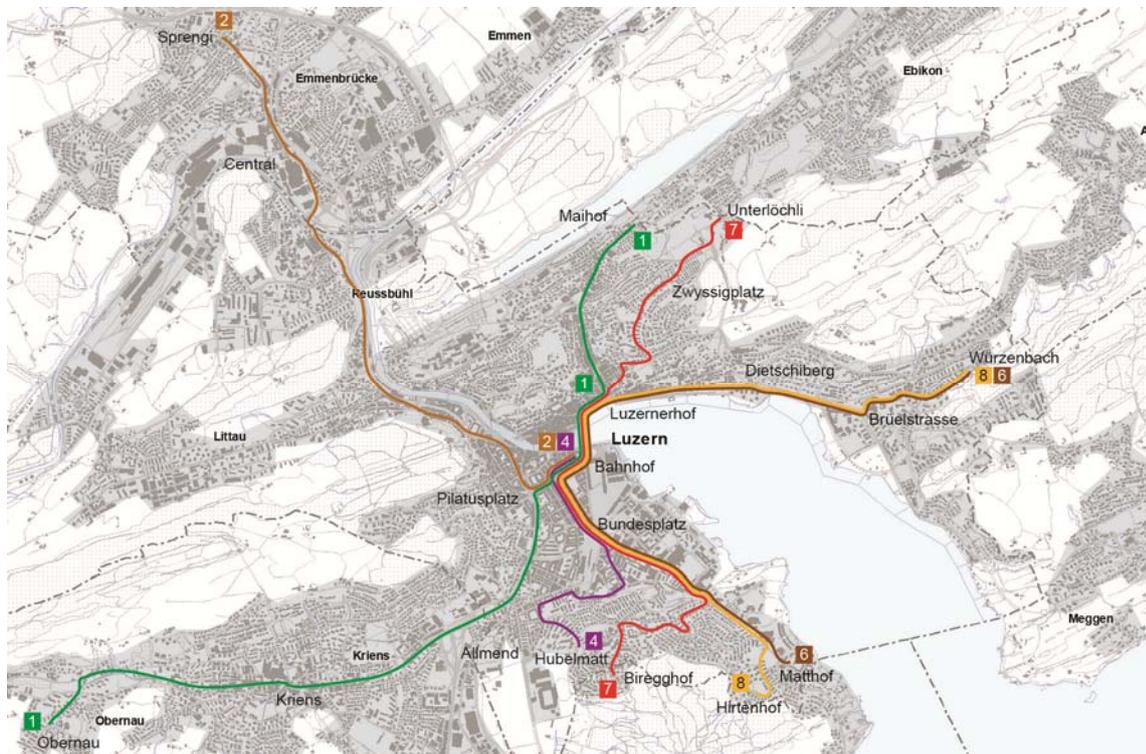


Abbildung 2: Trolleybusnetz 2012

Die Trolleybuslinien enden heute (mit Ausnahme von Kriens und Emmenbrücke) jeweils an der politischen Grenze der Stadt Luzern oder in unmittelbarer Nähe. Die verkehrlichen und siedlungsplanerischen Grenzen sind meist kaum mehr feststellbar; das Siedlungsgebiet ist gewachsen und geht insbesondere entlang der Hauptachsen nahtlos und in teilweise ähnlicher Dichte in die Agglomerationsgemeinden über.

Es bestehen heute zahlreiche Überlagerungen von Trolley- (Stadtverkehr) und Dieselbuslinien (Stadt-, Agglomerations- oder Regionalverkehr). Dies führt im Kernbereich zu einem teilweise ineffizienten Betrieb (bspw. Agglomerations-Dieselbuslinien 22/23 werden ab Maihof mit der Trolleybuslinie 1, ab Schlossberg zudem mit der städtischen Dieselbuslinie 19 überlagert).

2.2 Angebot und Nachfrage

Fahrplanangebot

Linie	Takt HVZ	Takt NVZ	Takt RVZ	Bemerkungen
1	5'	7.5'	15'	5'-Takt HVZ nur zw. Obernau – Luzernerhof, bis Maihof 10'-Takt
2	7.5'	7.5'	15'	
4	7.5'	7.5'	15'	10'-Takt HVZ/NVZ auf 2014 vorgesehen
6	10'	15'	30'	Auf Gemeinschaftsstrecke mit Linie 8 im 5'- bzw. 7.5'- bzw. 15'-Takt
7	7.5'	7.5'	15'	
8	10'	15'	30'	Auf Gemeinschaftsstrecke mit Linie 6 im 5'-bzw. 7.5'- bzw. 15'-Takt Takt

Tabelle 2: Taktangebot Trolleybuslinien (HVZ: Hauptverkehrszeit, NVZ: Nebenverkehrszeit, RVZ: Randverkehrszeit)

Fahrgastzahlen

Die heutigen Trolleybuslinien 1, 2, 6, 7 und 8 gehören zu den frequenzstärksten Linien im Busnetz der Agglomeration Luzern. Die Trolleybuslinie 4 ist unter den Trolleybuslinien die frequenzschwächste Linie und befindet im Vergleich aller Buslinien im Mittelfeld. Die Trolleybuslinien befördern im kantonsweiten Vergleich rund 30% aller ÖV-Kunden, bei deutlich geringerem Anteil an Kurskilometern (10%). Diese Verhältnisse spiegeln sich auch im Kostendeckungsgrad, wo die Trolleybuslinien das deutlich beste Verhältnis aufweisen.

Es erstaunt nicht, dass die Trolleybuslinien zu den frequenzstärksten Linien gehören. Zum einen wurden Tramlinien in den 60er-Jahren auf Trolleybus umgestellt, zum andern fahren Trolleybusse auf den Hauptachsen mit grossem Einzugsgebiet. Ausserdem sind die Investitionen in Fahrleitungs- und Gleichrichteranlagen erst mit dichten Taktintervallen und damit hoher Nachfrage zu rechtfertigen. Es besteht somit eine gewisse Logik darin, dass die am stärksten belasteten Linien als Trolleybuslinien betrieben werden, bzw. das Trolleybusnetz das Rückgrat des öffentlichen Nahverkehrs in der Stadt und Agglomeration darstellt.

Traktionsart	Liniennetzlänge in km	Kurskilometer in Mio.	Beförderte Personen in Mio.	Kostendeckungsgrad in %
Bahn	643	10.7	31.0	46.2
Bus	894	14.7	35.3	44.9
Trolleybus	30	3.0	27.4	73.3
- Linie 1			9.4	
- Linie 2			4.4	
- Linie 4			1.8	
- Linie 6			3.4	
- Linie 7			4.7	
- Linie 8			3.7	

Tabelle 3: Übersicht Planzahlen zum öffentlichen Regional- und Agglomerationsverkehr Luzern 2012 [6] [20]

2.3 Fahrzeuge

Das Rückgrat des heutigen Betriebs wird einerseits durch die beiden Generationen des Gelenktrolleybusses „Swisstromley 3“ von 2004 - 2009 und andererseits durch die Standardtrolleybusse aus dem Jahre 1989, welche zum grossen Teil mit Personenanhänger unterwegs sind, gebildet. Zudem verkehren in Luzern drei Doppelgelenkbusse „lighTram“.

In den nächsten Jahren ist die Ersatzbeschaffung für die hochflurigen Standardtrolleybusse bzw. für die Anhängerzüge sowie teilweise eine Neubeschaffung von Fahrzeugen vorgesehen.

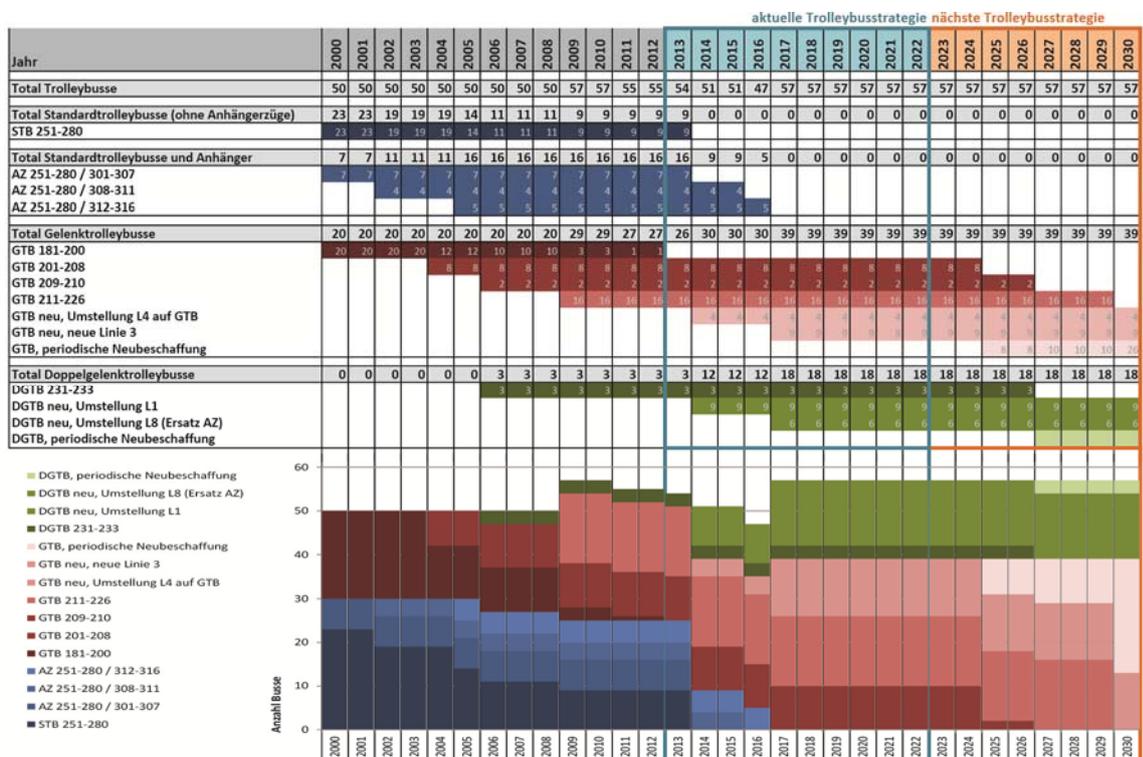


Abbildung 3: Entwicklung Trolleybusbestand (inkl. Annahme für Reserve)

Der Buchwert aller Trolleybusfahrzeuge beträgt per Dezember 2012 CHF 45.8 Mio. (inkl. 9 neue Doppelgelenktrolleybusse für die Linie 1) [27].

2.4 Infrastruktur

Fahrleitung

Der grösste Teil des Fahrleitungsnetzes wurde zwischen 1985 und 1990 erneuert. Die Instandhaltung der Fahrleitungen erfolgt periodisch nach Notwendigkeit. Streckenabschnitte, welche sich am Ende ihrer Lebensdauer befinden, werden je nach Zustand und Alter abschnittsweise erneuert.

Laut Schätzungen und Erfahrungswerten der vbl kostet eine Fahrleitung rund CHF 2.2 Mio. pro Kilometer. Dieser Kennwert beinhaltet die Kosten für die Fahrleitung und die Stromversorgung. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die effektiven Kosten für eine Fahrleitung stark von der betroffenen Strecke abhängen. Es ist bspw. entscheidend, ob die Fahrleitung auch an Gebäuden montiert werden kann oder ob Fahrleitungsmasten erstellt werden müssen. Allfällige Fahrleitungsweichen oder –kreuzungen beeinflussen die Kosten ebenfalls. Zudem sind die Kosten abhängig von der möglichen Integration der Netzerweiterung ins bestehende Trolleybusnetz sowie der Integration ins Mittelspannungsnetz. Für verlässliche Kosten muss eine Abklärung auf Basis der konkreten Linienführung erfolgen [25].

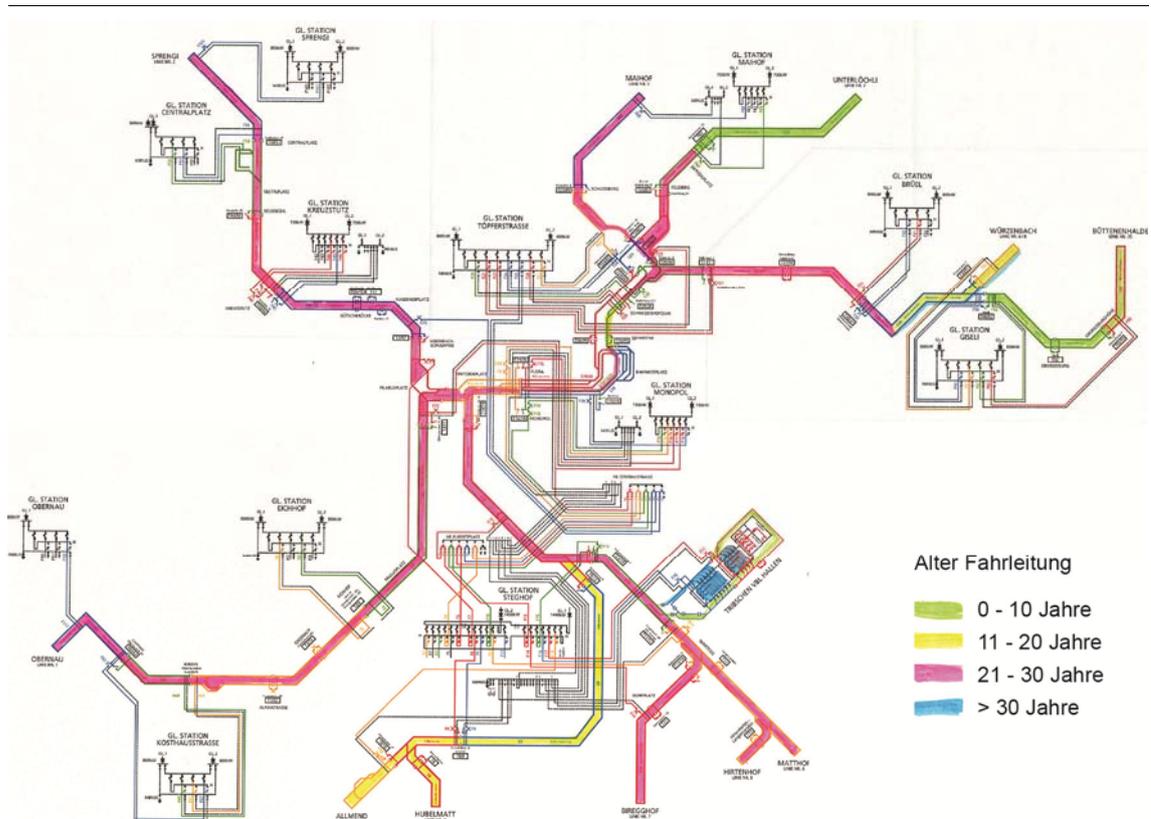


Abbildung 4: Fahrleitungsnetz: Alter (Darstellung vbl, Stand Oktober 2012)

Gleichrichter

Im Jahre 2008 beschloss der Zweckverband Öffentlicher Agglomerationsverkehr Luzern (ÖVL), die Gleichrichteranlagen für CHF 11.2 Mio. zu erneuern. Die Erneuerung befindet sich derzeit in Umsetzung und ist auf einen Weiterbetrieb der Anlagen für 30 Jahre ausgelegt.

Standort	Baujahr	Ende Lebensdauer	Leistung
Steghof	1962 / 1976 / 1989	ca. 2019	2x 1450 kW
Maihof	1999	ca. 2029	2x 730 kW
Kreuzstutz	1965 / 2003	ca. 2033	2x 730 kW
Monopol	2004	ca. 2034	2x 730 kW
Brühl	1965 / 2010	ca. 2040	2x 800 kW
Sprengi	2011	ca. 2041	2x 800 kW
Kosthausstrasse	2011	ca. 2041	2x 800 kW
Töpferstrasse	1949 / 1976 / 2012	ca. 2042	2x 800 kW
Emmenbrücke	1965 (Abbruch 2013)	2013	1x 720 kW
Centralplatz (Projekt)	2012/13	ca. 2043	1x 800 kW
Giseli (Projekt)	2012/13	ca. 2043	2x 800 kW
Eichhof (Projekt)	2013	ca. 2043	2x 800 kW
Obernau (Projekt)	2013	ca. 2043	1x 800 kW

Tabelle 4: Übersicht Gleichrichter und Schaltanlagen im Trolleybusnetz Luzern

Der Buchwert für sämtliche Fahrleitungen und Gleichrichter beträgt per Dezember 2012 CHF 22.6 Mio. (inkl. Gleichrichter Giseli und Fahrleitung Richtung Büttenenhalde, Ersatzinvestitionen und Stromversorgung) [27].

2.5 Umweltaspekte

2.5.1 Luft- und Lärmbelastung

Aufgrund der hohen Aktivitätendichte sind Stadt und Agglomeration Luzern einer starken Luftschadstoffbelastung mit erheblichen Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung ausgesetzt. Im dicht besiedelten Gebiet und entlang des Hauptverkehrsnetzes liegen die Jahresmittelwerte für Stickstoffdioxid und Feinstaub über den entsprechenden Grenzwerten der Umweltschutzgesetzgebung. Flächendeckend und deutlich zu hoch sind die Ozonkonzentrationen im Sommer und die Feinstaub-Spitzenbelastungen im Winter.

Der Strassenverkehr ist die wichtigste Quelle von Luftschadstoffen in der Stadt Luzern. Rund 50% der Stickoxid- und rund 57% der Feinstaubemissionen stammen vom Strassenverkehr. Der Anteil des öffentlichen Strassenverkehrs an den gesamten Strassenverkehrsemissionen liegt für Stickoxide bei rund 13%, für Feinstaub bei rund 11%. Gemessen an den transportierten Personen beträgt der Anteil des öffentlichen Strassenverkehrs am gesamten Strassenverkehr im Innenstadtkordon rund 26%. Das gute Abschneiden des öffentlichen Verkehrs ist nicht zuletzt auf die sehr geringen lokalen Emissionen des Trolleybusses zurückzuführen.

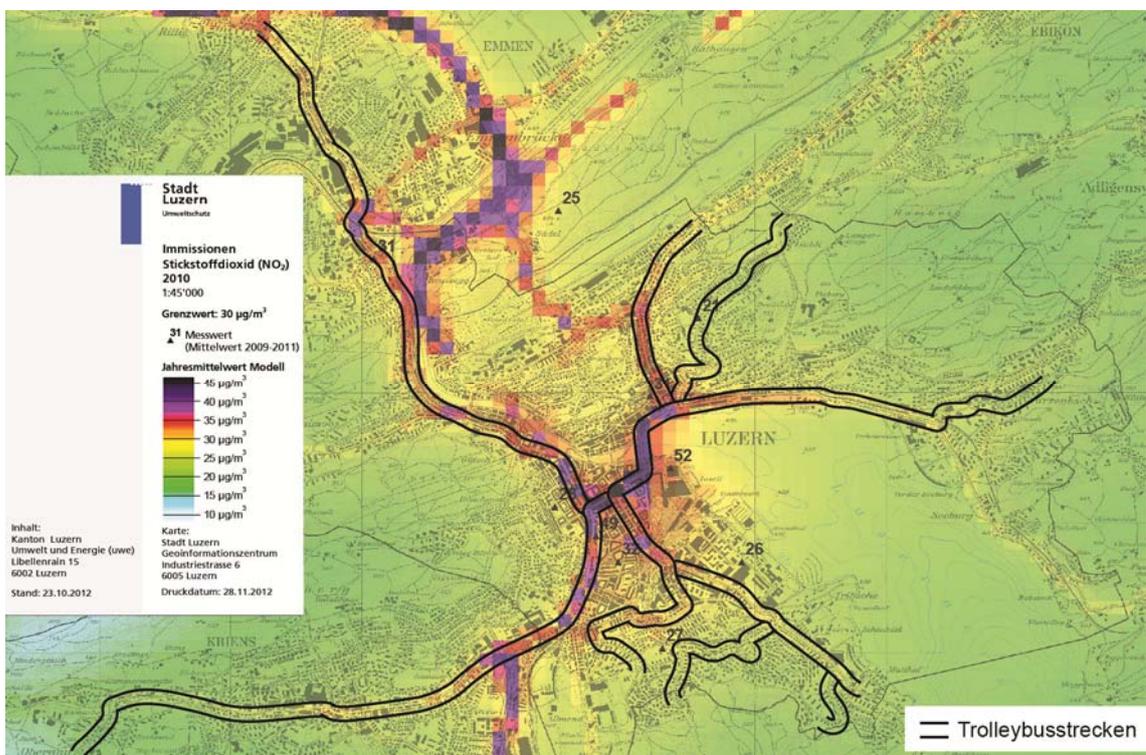


Abbildung 5: Stickstoffdioxid-Belastung (Jahresmittelwert) im Jahr 2010 in der Stadt Luzern [24]

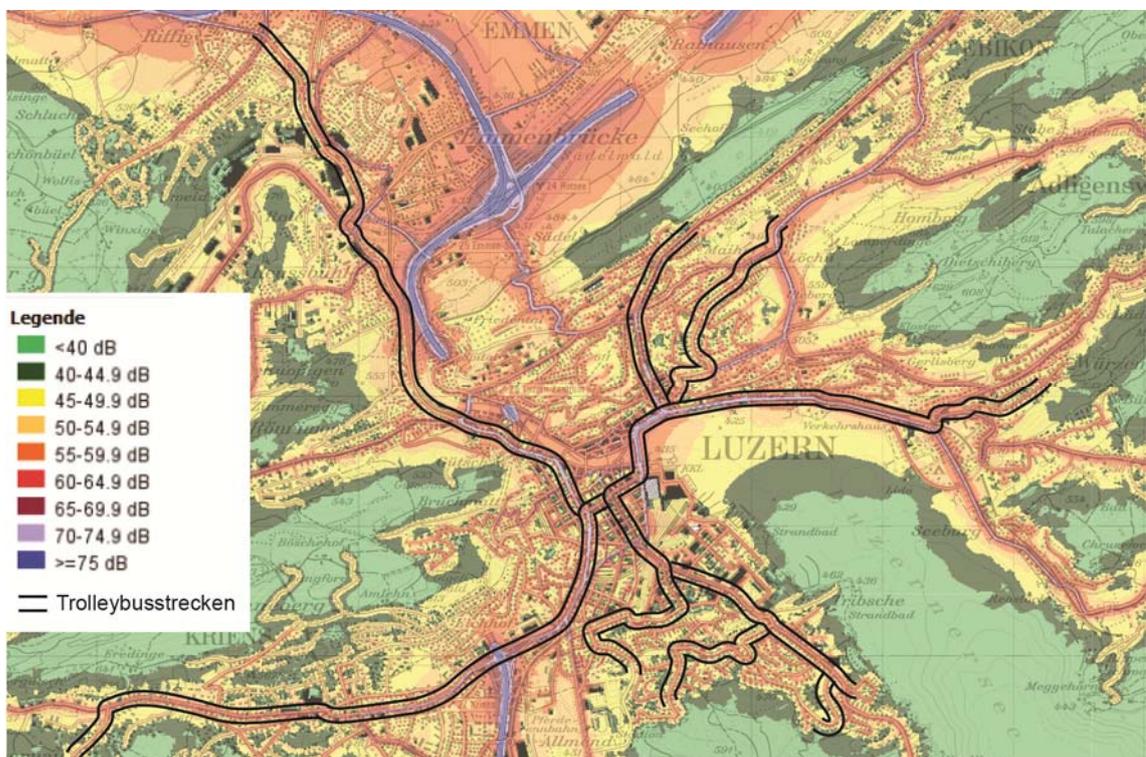


Abbildung 6: Übersicht Strassenlärm bei Tag und Überlagerung mit Trolleybusnetz [23]

2.5.2 Energie und Klima

In der Stadt Luzern gingen 2008 rund 12% des Primärenergieverbrauchs und rund 22% der CO₂-Emissionen zu Lasten des Strassenverkehrs. Der Anteil des öffentlichen Strassenverkehrs an den CO₂-Emissionen des gesamten Strassenverkehrs liegt bei rund 5%. Berücksichtigt man, dass im Innenstadtkordon auf der Strasse (d.h. ohne Bahn) 26% der Personen mit öffentlichen Strassenverkehrsmitteln transportiert werden, zeigt sich auch bezüglich CO₂ die hohe Effizienz des öffentlichen Strassenverkehrs gegenüber dem motorisierten Individualverkehr.

Die vbl beziehen ab 2013 für das Trolleybussystem nur noch Strom aus erneuerbaren Energien. Dies wird mit von einem unabhängigen Stromlabel zertifiziert. Die Art der Stromerzeugung hat einen grossen Einfluss auf den Primärenergieverbrauch, da Atomstrom mit einem deutlich höheren Primärenergiefaktor belastet ist als beispielsweise Strom aus Wasserkraft.

2.5.3 Vergleich Umweltbilanz Trolley- und Dieseltrolleybus

In der nachfolgenden Tabelle werden zwecks Vergleichbarkeit der Trolleybus und Dieseltrolleybus in Grösse eines Gelenkbusses gegenübergestellt. Die Luftschadstoffemissionen umfassen ausschliesslich den Ausstoss vor Ort in der Stadt Luzern. Die Emissionen aus vorgelagerten Prozessen (z.B. Stromproduktion) sind nicht berücksichtigt. Die Auspuff-Emissionen des Trolleybusses sind daher null.

Kriterium	Gelenkdieseltrolleybus	Gelenktrolleybus
Energieverbrauch am Fz [kWh/km] [18]	5.56	3.00
Energieverbrauch Primärenergie [kWh/km] [18]	8.69	5.49*
Emissionen CO ₂ -eq. [kg/km] [18] (Treibhausgase in CO ₂ -Äquivalenten)	1.983	0.265*
Emissionen NO _x Auspuff [g/fkm] [18] (Stickoxide)	10.210 (2015) 3.702 (2025)	0
Emissionen PM10 Auspuff [g/fkm] [18] (Feinstaubpartikel <10µm)	0.083 (2015) 0.018 (2025)	0
Emissionen PM10 Abrieb von Strassenbelag, Pneus und Bremsen [g/fkm] [18]	0.339	0.339
Emissionen PM10 Abrieb von Oberleitung [g/fkm] [18]	0	0.17
Emissionen PN Auspuff [g/fkm] [18]	4.5E+13 (2015) 8.3E+12 (2025)	0

Tabelle 5: Vergleich Traktionsarten auf Basis Gelenktrolleybus

*) Strom aus Wasserkraft

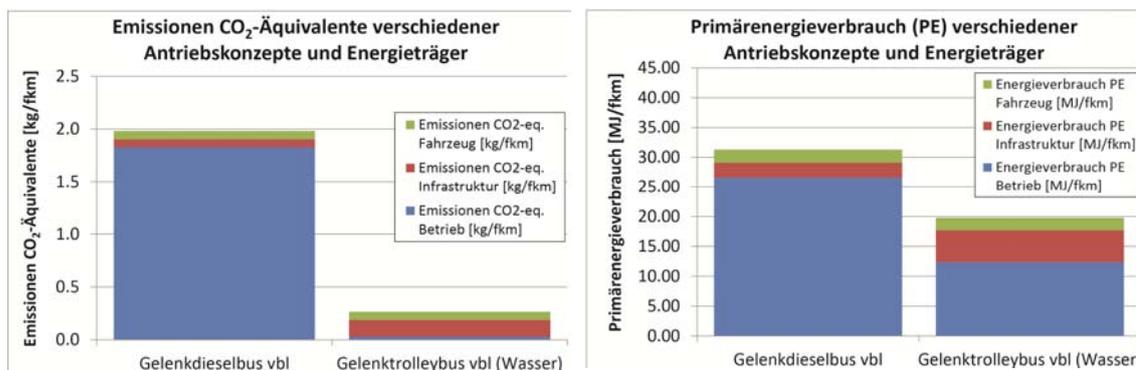
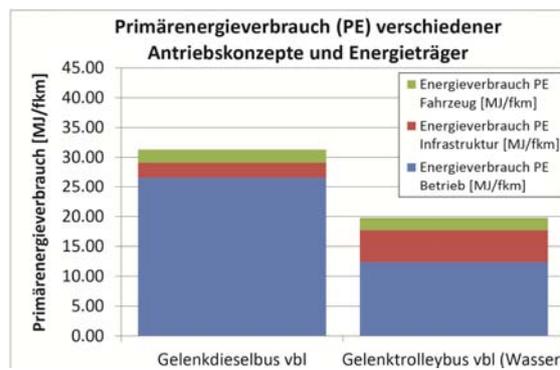
Abbildung 7: Vergleich Emissionen CO₂-Äquivalente

Abbildung 8: Vergleich Primärenergieverbrauch

Der Trolleybus benötigt am Fahrzeug nur 54% der Energie eines Dieselbusses. In Betrachtung der Primärenergie werden bei einem Schweizer Verbrauchermix 120%, bei reiner Wasserkraft jedoch nur 63% des Primärenergiebedarfs von Diesel verbraucht. Bezüglich Emissionen in CO₂-Äquivalenten werden vom Trolleybus 33% (CH-Mix) bzw. 13% (Wasser) eines Dieselbusses ausgestossen. Beim Hybridbus sind erfahrungsgemäss gegenüber einem Dieselbus Einsparungen von ca. 30% an Energieverbrauch erreichbar. Die Einsparungen bei den Emissionen sind höher, da der Dieselmotor vermehrt im optimalen Drehzahlbereich betrieben werden kann.

Der Trolleybus zeichnet sich dadurch aus, dass er keine motorischen (Auspuff) Schadstoffemissionen verursacht. Allerdings ist infolge Verschärfung der Abgasnormen auch beim Dieselbus ein markanter Rückgang der motorischen Schadstoffemissionen zu erwarten. Vor allem der Ausstoss der besonders gesundheitsschädigenden ultrafeinen Russpartikel nimmt dank dem Einsatz von wirkungsvollen Partikelfiltern stark ab. Andererseits fällt beim Trolleybus als zusätzliche Feinstaubquelle der Abrieb von Fahrleitungen und Stromabnehmerkohleschleifstücken an. Dabei handelt es sich vorwiegend um relativ grobe Kupferpartikel mit einem Durchmesser von zirka 1 Mikrometer. Die zusätzlichen Abriebemissionen des Trolleybusses gegenüber dem Dieselbus betragen auf Stadtgebiet aktuell rund 380 kg pro Jahr. Das sind knapp 2% der totalen Abriebemissionen des Strassenverkehrs.

2.6 Politisches Umfeld

Städtische Energie-, Luftreinhalte- und Klimapolitik

Aufgrund der übermässigen Immissionssituation bezüglich Luftschadstoffen und Lärm hat die Stadt Luzern schon früh Gegenmassnahmen auch im Verkehrsbereich ergriffen, bspw. die Einführung von Tempo 30 in den Wohnquartieren, die Förderung des öffentlichen Verkehrs, die flächendeckende Parkplatzbewirtschaftung oder die Ausrüstung des städtischen Fuhrparks mit wirksamen Russfiltern.

Im September 2008 beschloss der Stadtrat einen ersten Aktionsplan Luftreinhaltung und Klimaschutz mit insgesamt 24 Massnahmen. Mit der Massnahme VL3 sprach er sich im Grundsatz dafür aus, mit Dieselbussen betriebene Linien zu elektrifizieren oder auf andere umweltfreundliche Antriebskonzepte umzustellen, um die Lärm- und Schadstoffbelastung zu verbessern.

Das neue städtische Energiereglement aus dem Jahr 2011 verlangt eine weitere Senkung der Luftbelastung und strebt bis 2050 die Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen auf 1 Tonne pro

Kopf und des Primärenergieverbrauchs auf 2000 Watt pro Kopf der Bevölkerung an. Auch die kantonale Energiepolitik orientiert sich langfristig (Zeitraum 2050 bis 2080) an der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft. Dies erfordert eine deutlich höhere Energieeffizienz, den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energieträger und generell einen haushälterischen Umgang mit der Energie. Für die Umsetzung dieser Zielsetzungen ist gegenwärtig ein zweiter Aktionsplan in Erarbeitung.

Nachhaltige städtische Mobilität: Strategie der Stadt Luzern

Am 26. September 2010 beschloss der Souverän der Stadt Luzern das Reglement für eine nachhaltige städtische Mobilität. Im Reglement wird festgehalten: Die Stadt sorgt für ein sicheres, attraktives Fussweg- und Veloroutennetz. Der öffentliche Verkehr wird im Strassenraum konsequent priorisiert. Die Stadt setzt sich ein für attraktive Transportketten sowie für höchstmögliche zeitliche und örtliche Verfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs für den Pendler-, Einkaufs- und Freizeitverkehr. Die Verkehrsbelastung durch den MIV soll nicht weiter zunehmen.

Für die Umsetzung dieses Reglements, das unter anderem die Entwicklung von quantitativen Aussagen für die Mobilitätsentwicklung beinhaltet, und aufgrund der sich abzeichnenden Überlastungssituationen im Verkehr, wird gegenwärtig das Gesamtverkehrskonzept Agglomerationszentrum Luzern erarbeitet. Das Gesamtverkehrskonzept soll nachhaltige und kurzfristig realisierbare Verkehrslösungen aufzeichnen, mit denen die Zeitspanne bis zur Umsetzung der im Agglomerationsprogramm langfristig vorgesehenen übergeordneten Schlüsselmassnahmen überbrückt werden kann. Das Gesamtverkehrskonzept wird von Kanton, Verkehrsverbund Luzern, LuzernPlus und Stadt Luzern gemeinsam erarbeitet.

Im Zentrum des Gesamtverkehrskonzepts Agglomerationszentrum Luzern stehen die Kapazitätssteigerung des Gesamtverkehrssystems, die Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Förderung des Fuss- und Veloverkehrs sowie des öffentlichen Verkehrs und die Verbesserung der Aufenthalts- und Lebensqualität. Dabei gilt es vor allem die Gesamtverkehrsanforderungen im Agglomerationszentrum zu definieren und den Strassenraum entsprechend zu organisieren.

Revidierte Bau- und Zonenordnungen von Luzern und Kriens

Die neuen Bau- und Zonenreglemente der Stadt Luzern und der Gemeinde Kriens verlangen für im Zonenplan bezeichnete Gebiete einen erhöhten Gebäudestandard, welcher in einer eigenen Verordnung definiert wird. Der öffentlich aufgelegte Entwurf dieser Verordnungen basiert auf dem SIA-Effizienzpfad Energie und sieht erhöhte Anforderungen auch im Mobilitätsbereich vor. Die Anforderungen sind als „Zielwerte“ für den Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie und für die zulässigen CO₂-Emissionen definiert und verlangen bspw. eine sehr gute Erschliessung mit öffentlichen Verkehrsmitteln, eine attraktive Erschliessung für Fussgänger und Velofahrende, ein eingeschränktes Parkplatzangebot und die aktive Bewirtschaftung der Parkplätze, Angebote für kombinierte Mobilität / Carsharing sowie Vergünstigte Angebote für ÖV-Abonnemente, usw.

Finanzierung und Zuständigkeiten

Mit der Lancierung des Verkehrsverbundes Luzern wurde ein neues, zweigeteiltes Finanzierungs- und Zuständigkeitssystem eingeführt, welches im kantonalen ÖV-Gesetz geregelt ist.

- Der Verkehrsverbund Luzern bestellt und finanziert das Angebot des öffentlichen Verkehrs im Kanton Luzern. Die öffentlich-rechtliche Anstalt gehört je hälftig den Gemeinden und dem Kanton. In diesem Verhältnis ist der Verkehrsverbund Luzern neben Bundesbeiträgen auch finanziert.
- Der Bau, die Änderung und der Unterhalt von Bauten und Anlagen für den öffentlichen Verkehr sind Sache der Transportunternehmungen. Der Kanton kann an die Investitionen Beiträge ausrichten.
- Die kantonale Dienststelle Verkehr und Infrastruktur vif koordiniert die Kantonsbeteiligung. Sie publiziert die mit dem Verkehrsverbund abgestimmten Infrastrukturinvestitionen im Aufgaben- und Finanzplan AFP.

Ausschreibungsstrategie

Die Ausschreibungsstrategie ist beim Verkehrsverbund derzeit in Erarbeitung.

2.7 Geplante Ausbauten Trolleybusnetz

Im Rahmen des Buskonzeptes AggloMobil due sind folgende Ausbauten des Trolleybusnetzes vorgesehen:

- Verlegung der Linie 6 ab Brüelstrasse nach Büttenehalde (statt Würzenbach). Neue Trolleybusinfrastruktur zwischen der Verzweigung Würzenbachstrasse und Büttenehalde. Geplante Inbetriebnahme im Dezember 2013.
- Neue Linie 3 zwischen Kriens Busschleife und Emmenbrücke Central, ab 2018 bis zum neuen Bushub Seetalplatz, wofür der Takt der Linie 1 von 5' auf 7.5' gestreckt wird. Verbindungsweichen am Pilatusplatz zwischen den Linien 1 und 2 in beide Richtungen. Geplante Inbetriebnahme im Dezember 2015.
- Führung der Linie 2 im Rahmen des Strassenprojektes Seetalplatz über den Bahnhof Emmenbrücke. Neue Trolleybusinfrastruktur im Raum Seetalplatz – Central. Geplante Inbetriebnahme im Dezember 2018.
- Verlängerung Linie 1 ab Maihof bis Ebikon Bahnhof (1. Etappe) und Ebikon Schindler, bzw. zur geplanten Mall of Switzerland (2. Etappe), parallel dazu Verkürzung Linien 22 und 23. Neue Trolleybusinfrastruktur zwischen Maihof und den Etappenendpunkten Bahnhof bzw. Schindler / Mall of Switzerland. Geplante Inbetriebnahme der 1. Etappe im Dezember 2018.
- Auf der Linie 4 sollen anstelle der heutigen Standardtrolleybusse neu Gelenktrolleybusse zum Einsatz kommen, wofür das Taktintervall von 7.5' auf 10' gestreckt wird (kostenneutrale Massnahme). Auf der Linie 1 und später auch auf der Linie 8 sollen zusätzliche Doppelgelenktrolleybusse zum Einsatz kommen (vgl. Abbildung 3 Kap. 2.3).

Zusätzlich ist im Agglomerationsprogramm der 2. Generation die Umstellung der Linie 12 auf Trolleybus erwähnt. Dafür wird jedoch ein Zeitpunkt nach 2019 genannt und liegt somit im Zeitraum einer nächsten Trolleybusstrategie. Eine Umstellung würde eine neue Trolleybusinfrastruktur zwischen Kreuzstutz und dem Endpunkt der Linie 12 erfordern (voraussichtlich Neubaugebiet Tschuopis).

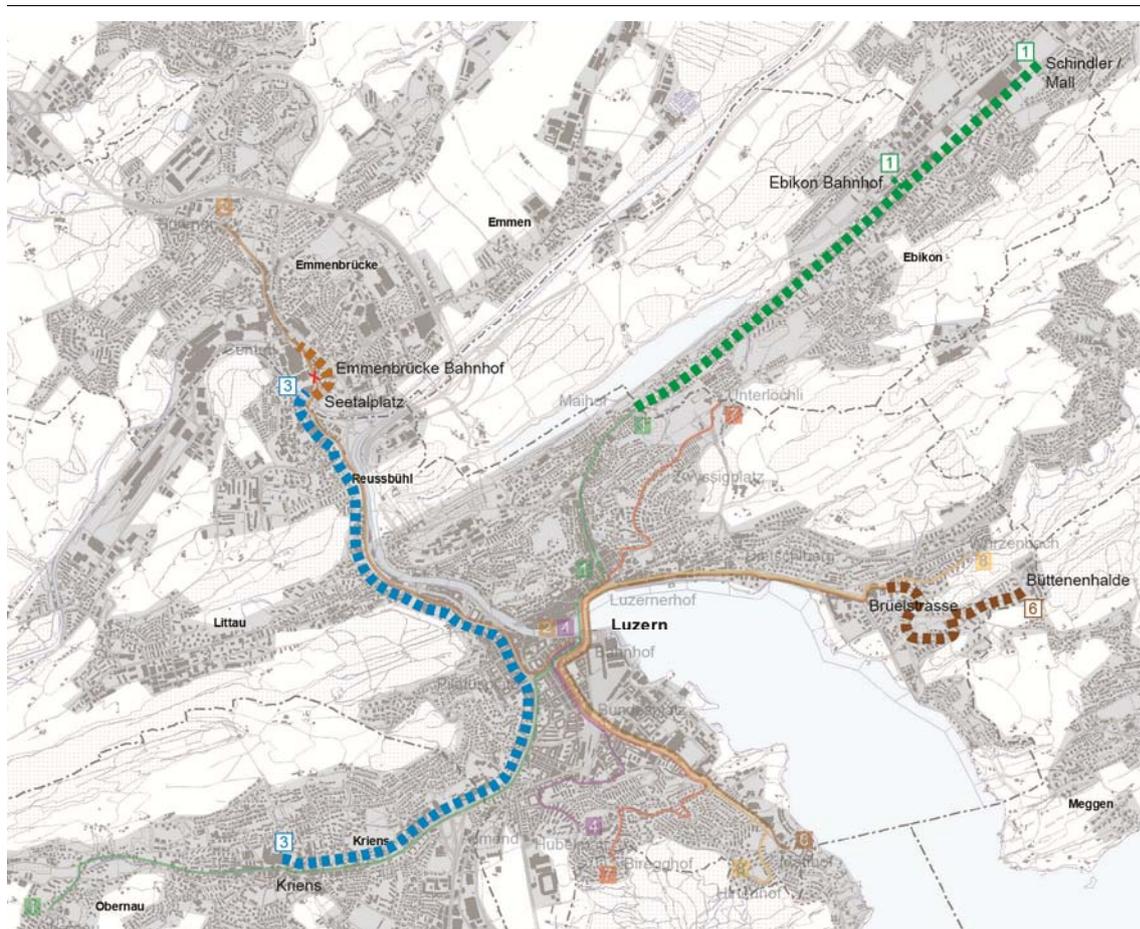


Abbildung 9: Übersicht geplante Ausbauten gemäss Agglomobil due

Die in AggloMobil due vorgesehenen Ausbauten werden auch von den Gemeinden, gemäss ihren Stellungnahmen in der Vernehmlassung, gestützt.

Die Trolleybusse sind heute im Depot an der Tribtschenstrasse untergebracht. Dieser Standort zeichnet sich durch die ausgezeichnete Zentrumsnähe und die kurzen Anfahrtswege aus. Die Ausrüstungen für den Betrieb von Trolleybussen sind vorhanden.

Die gemäss AggloMobil due vorgesehenen Ausbauschritte sehen eine Erhöhung der Anzahl Trolleybusse vor. Da das Depot im Tribtschenquartier bereits heute ausgelastet ist, müssen für die Ausbauten andere Garagierungsvarianten gefunden werden. Sinnvollerweise werden die Trolleybusse weiter im Tribtschenquartier garagiert (Anfahrtsweg, Infrastruktur). AggloMobil due wird dazu führen, dass eine Anzahl Dieselsebusse an einem anderen Standort garagiert werden muss.

2.8 Vorschau ÖV-Bericht 2014-17

Im ÖV-Bericht 2014-17 nimmt das Trolleybussystem eine wichtige Rolle als kapazitätsstarker und umweltfreundlicher Verkehrsträger auf den Hauptachsen der Agglomeration ein.

Zwischen den Subzentren der Agglomeration (ÖV-Umsteigepunkte) sollen die Fahrgastströme wirtschaftlich, d.h. gebündelt in grossen statt immer dichter verkehrenden Bussen, befördert werden. Die Doppelgelenktrolleybusse geniessen dabei bei der ÖV-Bevorzugung einen speziellen Status. Dafür wird ein hochwertiger Busbevorzugungsstandard entwickelt, welcher zu allen Tageszeiten ein rasches Vorankommen garantieren soll. Das neue Produkt soll auch visuell entsprechend kommuniziert werden (bspw. andere farbliche Gestaltung). Zudem soll im dicht bebauten Kernbereich mit dem Trolleybus auch weiterhin die umweltfreundlichste Bustraktion eingesetzt werden. Die Lärm- und Stickstoffdioxid-Immissionen an den hoch belasteten Hauptachsen können durch den Trolleybuseinsatz reduziert werden.

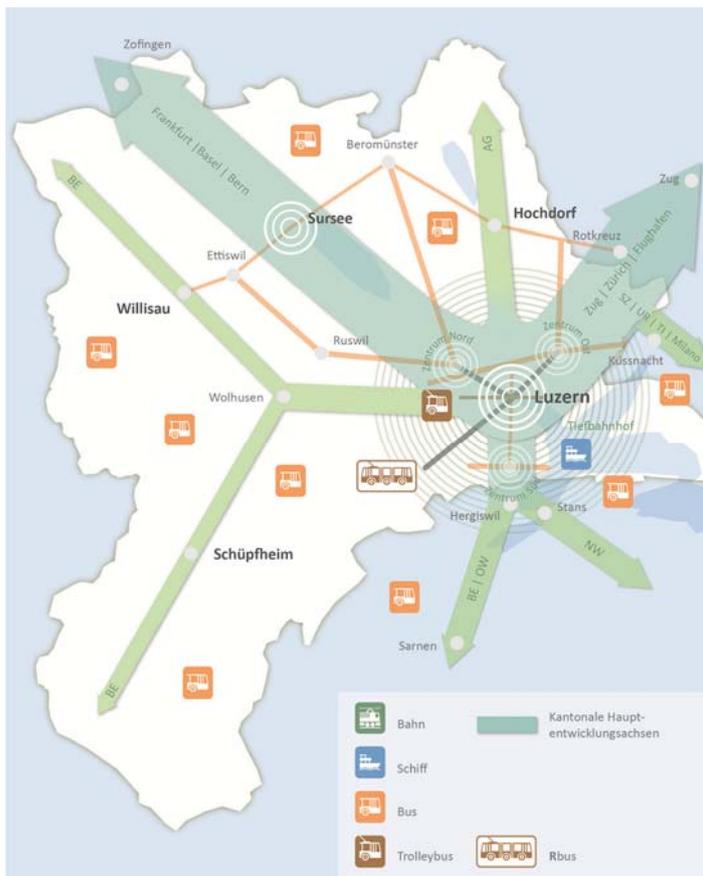


Abbildung 10: ÖV-Vision gemäss Entwurf ÖV-Bericht 2014-17

2.9 Fazit

Das Trolleybusnetz in Luzern erstreckt sich über die Hauptverkehrsachsen und in die dichten städtischen Quartiere. Es leistet mit den dichten Taktintervallen und hohen Beförderungsleistungen in diesen teilweise hochbelasteten Bereichen einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung von Lärm- und Luftbelastungen. Die elektrische Traktion verursacht ferner deutlich geringere CO₂-Emissionen und benötigt weniger Primärenergie als der Dieselantrieb. Der Trolleybus leistet daher einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele.

Das Trolleybusnetz befindet sich (mit den zugehörigen Gleichrichtern) in Erneuerung und ist für den Betrieb für die nächsten 30 Jahre gerüstet. Die dafür notwendige Infrastruktur bindet hohe Mittel für den genannten Zeitraum. Die Fahrzeugerneuerung geschieht laufend. Aktuell läuft eine Beschaffung für neun Doppelgelenktrolleybusse (Inbetriebnahme 2014). Nächste grössere Erneuerungswellen sind ca. 2016 und ca. 2025 zu erwarten. Fahrzeuge und Infrastruktur besitzen eine hohe Wertigkeit.

Die Weiterentwicklung des Trolleybusnetzes wird auch von der Stadt Luzern und den Gemeinden gestützt. Für den Verkehrsverbund ist der Trolleybus ein wichtiger Systemträger in der Agglomeration Luzern und massgebend, um die Kapazitätsziele zu erreichen.

3 Städteübersicht

Die Entwicklung der Trolleybusssysteme in der Schweiz, in Europa und weltweit wird nachfolgend aufgezeigt. Das Schwergewicht wird dabei auf die Entwicklung in der Schweiz gelegt.

3.1 Schweiz

Stadt	Anzahl Linien	Netzlänge in km	Anzahl Fahrzeuge	Entwicklungsabsichten
Basel	1	5	8	2005 eingestellt
Bern	3		20	Weitere Umstellungen von Trolleybus auf Tram langfr. möglich (Linie 20 / Linie 12 Länggasse), Inselspitalschliessung mit Trolleybus geplant
Biel	2	16	20	Abhängig von RegioTram Biel
Fribourg	3		21	Ausbauvorhaben im Rahmen AP2G
Genève	6		91	Linienreduktion aufgrund Tramausbauten Richtung Bernex
La Chaux-de-Fonds	3		12	Einstellungsentscheid auf 2014 vertagt
Lausanne	10		93	
Luzern	6	30	56	
Lugano	5	13	14	2001 eingestellt
Montreux-Vevey	1	13	18	
Neuchâtel	4	26	36	
Schaffhausen	1	9	7	Fortbestand nach Einstellungsdiskussion gesichert, Ausbau angestrebt
St. Gallen	4		25	Umstellung Linien 1 und 3 auf Tram ab 2030 denkbar
Winterthur	3		33	Absichten für Doppelgelenktrolleybusse (Kapazitätserweiterung) und ÖV-Hochleistungskorridore (Infrastruktur)
Zürich	6	54	78	Umstellung Linien 69 und 80 auf Trolleybus als Ziel der Stadt, jedoch ohne Unterstützung durch ZVV

Tabelle 6: Städtevergleich Schweiz

Weitere Trolleybusbetriebe in der Schweiz existierten im St. Galler Rheintal, am Thunersee und im Val-de-Ruz. Sie wurden in den 1970er und 1980er eingestellt.

Es lassen sich drei strategische Stossrichtungen unterscheiden:

- *Halten*

Die meisten Schweizer Städte halten an ihrem derzeitigen Trolleybusnetz fest. Einzige Unsicherheiten bestehen dabei in Umstellungsabsichten einzelner Linien(abschnitte) auf Tram. So ist in Bern und Genf das Trolleybusnetz hauptsächlich aufgrund der Erweiterung des Tramnetzes geschrumpft. Weitere Umstellungsvorhaben in Bern (Linie 20 Richtung Wankdorf, Linie 12 Richtung Länggasse) sind offen. Im Zusammenhang mit dem Tram Region Bern steht auch zur Diskussion, die Linie 12 aus der Spitalgasse zum Bundesplatz zu verlegen, wo aber aus städtebaulichen Gründen (Bundeshaus) keine Fahrleitungen möglich sind. Ausserdem ist eine Netzerweiterung zum Inselspital vorgesehen, welche sich im Plange-nehmungsverfahren befindet.

Weitere Städte mit Tramvorhaben, welche einen Teil oder das ganze Trolleybusnetz erset-zen sollen, sind St. Gallen und Biel. In St. Gallen wurde die Systemdiskussion Richtung Tram im Mai 2012 nach einer Machbarkeitsuntersuchung auf den Zeitraum 2025 vertagt. In Biel ist der Weiterbestand des Trolleybusnetzes von der Realisierung des Regiotram Biel abhängig.

In den übrigen Städten ist das jeweilige Trolleybusnetz grundsätzlich etabliert und wird in einzelnen Fällen der Siedlungsentwicklung angepasst (bspw. Verlängerung Linie 3 zum Zentrum Rosenberg in Winterthur, Anpassungen Trolleybusstreckennetz Lausanne aufgrund Metro).
- *Ausbau*

Städte mit konkreten Ausbauabsichten sind Schaffhausen, Zürich, Fribourg und Luzern. Die heute einzige Linie in Schaffhausen soll um eine zweite Linie ergänzt werden. In Zürich be-steht das Ziel, die beiden über den Hönggerberg verkehrenden Linien 69 und 80 auf Trolley-bus umzustellen, hauptsächlich aus Traktions- und damit aus Leistungsfähigkeitsgründen (zwei angetriebene Achsen auf steilen Strecken), sowie aufgrund der Umweltziele der Stadt Zürich. Der Zürcher Verkehrsverbund als Bestellerbehörde unterstützt diese Vorhaben je-doch nicht. Er finanziert nur Kapazitätssteigerungen, nicht aber Umweltschutzmassnahmen. In Fribourg sind im Rahmen des Agglomerationsprogramms diverse Netzerweiterungen in Richtung Agglomerationsgemeinden, wie auch Taktverdichtungen vorgesehen. Es bleibt ab-zuwarten, welche Entwicklung diese jüngsten Pläne in einer Reihe angekündigter umfang-reicher ÖV-Ausbauvorhaben nehmen.

Als Vorlaufbetrieb zu einer allfälligen Umstellung zum Tram werden in Zürich (Linien 31, 32), Genf (Linie 10) und St. Gallen (Linie 1), je nach weiterer Entwicklung auch in Winterthur und Bern, Doppelgelenktrolleybusse positioniert. Eine solche Kapazitätserhöhung ist günstiger und schneller realisierbar und vermag die steigende Nachfrage auf absehbare Zeit zu be-friedigen.

In Luzern sind die erwähnten Ausbauten in Kapitel 2.7 zusammengestellt. Diese Netzerwei-terungen sind im Agglomerationsprogramm Luzern 2. Generation verankert.
- *Abbau*

Die ursprünglich auf Herbst 2012 vorgesehene Einstellung des Trolleybusbetriebes in La Chaux-de-Fonds wird aufgrund Opposition bis mindestens 2014 vertagt. Es stehen umfang-reiche Fahrleitungserneuerungen und aufgrund der Erneuerung des Bahnhofplatzes Fahrlei-tungsprovisorien an. Die Linien in La Chaux-de-Fonds verkehren tagsüber in grösseren In-tervallen als anderswo im Stadtverkehr üblich (15'-Takt) und abends sowie sonntags werden Autobusse auf speziellen Rundkursen eingesetzt. Hingegen sind die meisten Fahrzeuge noch nicht abgeschrieben. Ein Teil der Fahrzeuge wurde bereits verkauft und bei einer Ein-stellung sollen die restlichen auf das Trolleybusnetz in Neuchâtel gelangen.

Lugano stellte im Jahre 2001 sein Trolleybusnetz ein, als Fahrzeuersatzbeschaffungen und Infrastrukturernuerungen fällig gewesen wären. Lugano war mit seinen 1000 V= Netzspan-

nung ein Exot unter den europäischen Trolleybusbetrieben (üblicherweise 600 – 750 V Gleichstrom). Demzufolge waren dort immer in der Beschaffung kostenintensivere Sonderanfertigungen notwendig.

Die Stadt Basel hat 2005 ihre einzige verbleibende Trolleybuslinie eingestellt, weil Linienverknüpfungen mit Autobuslinien geplant waren, die Basler Verkehrsbetriebe keine Mehrzahl paralleler Traktionssysteme betreiben wollten und das Trolleybus-„Netz“ mit einer einzigen verbleibenden Linie kaum lebensfähig war.

3.2 Europa

Mit mehr als 150 Betrieben sind über 40% der weltweiten Trolleybusbetriebe in Europa domiziliert. Wird Russland (85 aktive Betriebe) ganz zu Europa gezählt, so sind gut zwei Drittel aller Betriebe weltweit in Europa zu finden. Die Dichte der Trolleybusbetriebe ist jedoch nicht gleich verteilt. Der Trolleybus hat insbesondere in Osteuropa eine starke Stellung. Rund 70% aller Betriebe liegen in Ländern des ehemaligen Ostblocks. Wird Russland in die Auswertung einbezogen sind es gar über 80%. Uneinheitlich zeigt sich in Osteuropa die Entwicklungsdynamik. Vor allem in Ländern, welche bis Ende der Achtzigerjahre eine hohe Anzahl von Trolleybusbetrieben aufwiesen, ist deren Zahl in den letzten Jahren um teilweise rund die Hälfte zurückgegangen – so in Rumänien, Polen, Georgien. Als Gründe für die Einstellung lässt sich für viele Betriebe die prekäre Finanzlage der öffentlichen Hand festmachen. Eine deutliche Ausnahme bildet dabei Russland, wo nur in wenigen Städten in den vergangenen 20 Jahren der Betrieb eingestellt wurde.

Aber auch in den östlichen Bundesländern Deutschlands führte die Einstellung einiger Trolleybusbetriebe dazu, dass von einst zahlreichen Betrieben noch gerade drei in Funktion stehen. Zusammen mit Portugal, Österreich und Frankreich bildet es eine Gruppe von Staaten, welche anteilmässig besonders viele Betriebe einstellen mussten. Insbesondere in Frankreich setzt man nun bei der Weiterentwicklung der ÖV-Netze aufgrund der politischen Rahmenbedingungen eher auf Tramsysteme. In anderen europäischen Staaten ist die Tendenz der Trolleybusbetriebe aufsteigend: In Italien nahm die Anzahl Betriebe seit 1990 um 6 auf 15 zu, weitere sind in Planung. Ökologische Kriterien spielen hier eine grosse Rolle beim Entscheid für den Trolleybus. Eine „Wiedergeburt“ erlebte der Trolleybus auch in Spanien und Schweden, wo neue Betriebe gegründet wurden.

3.3 Weltweit

Ausserhalb Europa ist kaum eine Konzentration von Trolleybussystemen auszumachen. Der Trolleybus hat nur in einzelnen Städten eine starke Stellung, bspw. in Vancouver, Seattle oder zunehmend auch in südamerikanischen Metropolen (São Paulo, Mérida, Barquisimeto, Quito). In Riad, Saudi-Arabien, wird ein neues Nahverkehrssystem mit neu designten Trolleybussen aufgebaut. Das spezielle Design soll die Symbiose des Trolleybusses zwischen Tram und Bus unterstreichen.

Im fernöstlichen Raum ist in China (mit 17 aktiven Betrieben) und Nordkorea (ungefähr 20 Betriebe) eine grössere Anzahl an Städten mit Trolleybussystemen auszumachen. Allerdings zeigt sich in China wie in Osteuropa in den letzten zwanzig Jahren ein deutlicher Rückgang: Seit 1990 haben 25 Städte ihren Trolleybusbetrieb eingestellt. Anders als in Osteuropa sind hierbei die Gründe, zumindest in den Grossstädten, teilweise im Rahmen des Metrobaus zu suchen.



Abbildung 11: Spezielles Trolleybusdesign für Riad
(Quelle: <http://blogdocaminhoneiro.com>)

3.4 Fazit

Die Übersicht über die Trolleybusstädte zeigt kein einheitliches Bild über die jeweiligen Strategien. Die Entwicklungen in den einzelnen Städten sind sowohl national, wie auch international stark abhängig von den jeweiligen Rahmenbedingungen (bspw. Erneuerungsbedarf der Fahrzeuge und Infrastruktur, Netzintegration, vorhandenes System, Kompatibilität, etc.) und den herrschenden politischen Verhältnissen. Wo, ähnlich wie in Luzern, bestehende Netze mit starkem Stellenwert vorhanden sind und die jeweilige Nachfrage keine Tramlinien erfordert, besteht für den Weiterbetrieb der Trolleybusssysteme eine gute Zukunft. Einzelne Netzergänzungen oder -anpassungen lassen sich dabei kaum miteinander vergleichen, weil die Rahmenbedingungen (Gleichrichter, bestehendes Netz, Fahrzeuge, etc.), das Umfeld (Politik, Wunschlinien, etc.) und die Auswirkungen gänzlich unterschiedlich sein können. Deshalb müssen Projekte einzeln beurteilt werden.

4 Entwicklungen

4.1 Energiesektor

Globale Betrachtungen

Die globale Energieversorgung basiert heute überwiegend auf endlichen, nicht erneuerbaren, fossilen Energieträgern, wie Erdöl, Kohle und Erdgas. Diese fossilen Energieträger decken zusammen rund 80%, Kernbrennstoffe (bspw. Uran) rund 2% des globalen Energiebedarfs. 82% des Primärenergieverbrauchs der Stadt Luzern stammten 2008 aus nicht erneuerbaren Quellen. Bei gleichbleibendem Verbrauch würden die geschätzten weltweiten Vorräte beim Erdöl 40 bis 90 Jahre, beim Erdgas 60 bis 130 Jahre, beim Uran 50 bis 150 Jahre und bei der Kohle noch mehr als 200 Jahre ausreichen. Die Internationale Energieagentur prognostiziert allerdings bei unveränderter Politik eine weltweite Nachfragesteigerung nach Energie bis 2030 um mehr als 50%. Je knapper die Ressourcen sind, desto risikoreicher und teurer wird deren Förderung. Zudem wird die absehbare geografische Konzentration der Vorkommen auf wenige, politisch teilweise instabile Länder die Versorgungssicherheit zunehmend belasten.

Das Hauptrisiko des heutigen Energiekonsums liegt gemäss Bundesamt für Energie jedoch nicht in der Verfügbarkeit der fossilen Ressourcen und der Kernbrennstoffe, sondern in den damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Die übermässige lokale Schadstoffbelastung der Luft wird grösstenteils durch die Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe verursacht und sorgt für gravierende gesundheitliche Schäden und hohe volkswirtschaftliche Kosten. Bei einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur über 2° C drohten „katastrophale Auswirkungen für den Menschen“. Eine Begrenzung der Erwärmung auf 2 bis 2.4° C verlangt bis 2050 eine weltweite Reduktion der Treibhausgasemissionen um 50 bis 85% gegenüber dem Stand 1990. Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass die Geschwindigkeit des Klimawandels im obersten Bereich der erwarteten Bandbreite liegt und die erforderliche Emissionsreduktion bzgl. Ausmass und Dringlichkeit eher unterschätzt wurde. [26]

Denkbare Entwicklung der Energiekosten

Die Entwicklung der Energiekosten und des Strommixes in den nächsten 10-20 Jahren ist äusserst unsicher. Verschiedene Varianten sind denkbar und realistisch, bspw.:

- Es finden keine wesentlichen Änderungen in der Energiepolitik statt: Der Strommix bleibt ähnlich wie heute, nur die Kosten dürften leicht steigen. Auf die Stellung des Trolleybussystems dürfte dieses Szenario keinen nennenswerten Einfluss haben.
- Es findet ein Wechsel in Energiepolitik statt: Es ist denkbar, dass der Strommix ökologischer wird und die Kosten leicht steigen. Das Trolleybussystem dürfte in diesem Szenario gestärkt werden. Wenn die Kosten deutlich steigen, wird das Trolleybussystem wohl ebenfalls gestärkt, unter der Voraussetzung, dass auch die Preise für fossile Energieträger in einem ähnlichen Verhältnis steigen (wovon aus politischen Gründen oder aufgrund der Knappheit fossiler Ressourcen ausgegangen werden kann).

4.2 Fahrzeuge

Für einen kundengerechten, ökonomischen und ökologischen Fahrzeugeinsatz gilt der Leitsatz: „das richtige Fahrzeug am richtigen Ort“. Dies muss sowohl bei der Fahrzeuggrösse als auch

bei der Traktionsart gelten. Auf Grund von unterschiedlichen Anforderungen und andersartigen Randbedingungen in Städten/Regionen können sich differenzierte Lösungen ergeben. Auch wenn im Bereich der Antriebsarten künftig eine weitere Diversifizierung am Markt zu erwarten ist, sollten aus Effizienz- und Kostengründen in einer Stadt nicht alle möglichen Lösungsansätze verfolgt werden.

Im ÖV-Bericht 2014 – 2017 wird ausgesagt, dass bestehende Traktionen zu stärken sind und auf weitere Systeme – auch aus wirtschaftlichen Gründen – vorerst zu verzichten ist.

4.2.1 Strombetriebene Traktion mit Serienreife

Trolleybus

Das Trolleybusssystem ist eine erprobte und bewährte Technik. Einzig das Dieselaggregat (Hilfsmotor) erfährt zurzeit Änderungen. So sind heutige Hilfsmotoren meist untermotorisiert und ohne Russpartikelfilter ausgestattet. Sie eignen sich nur für Notfahrten. Die aktuellen Entwicklungen konzentrieren sich darauf, den Trolleybus mit einer Traktionsbatterie statt eines thermischen Motors (plus Generator) auszurüsten. Dies ermöglicht eine emissionsfreie und geräuscharme Fahrt bei betrieblichen Sonderfällen, insbesondere die hohen Kaltstartemissionen des Dieselmotors können vermieden werden. Ein weiterer Vorteil dieser Entwicklung sind die erweiterten Betriebsmöglichkeiten durch die höhere Leistungsabgabe der Batterie gegenüber einem Notmotor. Mit einem solchen Konzept ist es möglich, eine kurze Fahrt mit akzeptablen Fahrleistungen durchzuführen. Die VBZ hat bereits die ersten Doppelgelenktrolleybusse mit diesem Konzept erhalten. Der Hersteller garantiert Normalbetrieb bis 1.5 km ohne Fahrleitungskontakt.



Abbildung 12: Neuer Doppelgelenktrolleybus der VBZ mit Traktionsbatterie (Quelle: www.vbz.ch)

Weiterführende Konzepte nutzen dieselbe Energiespeicherbatterie zusätzlich als Energiepuffer während der Fahrt an der Fahrleitung und erreichen damit eine Energieeinsparung. Die beschriebenen Batteriesysteme haben jedoch insbesondere bei grossen Fahrzeugen eine begrenzte Reichweite. Sie werden während der Fahrt auf dem Fahrleitungsnetz wieder aufgeladen.

In den letzten Jahren ist eine zunehmende Entwicklung zu speziellen, tramähnlichen Designs festzustellen. Dies geht einher mit der verbreiteten Ansicht, dass sich Trolleybusse insbesondere für die Bereitstellung grosser Kapazitäten eignen und eine kostengünstige Alternative zu einem Tram darstellen. Studien sehen teilw. noch längere Fahrzeuge als Doppelgelenkbusse, wobei die Zulassung solch langer Gefährte noch nicht geklärt ist.

Das geeignete Einsatzgebiet von Trolleybussen sind Linien mit hoher Nachfrage, steigungsreichen Abschnitten, Gebiete mit hohen Emissionsbelastungen (Luftschadstoffe, Lärm) und eine Stromspeisung des Netzes mit erneuerbarer Energien.

Elektrobus

Mit der stetigen Weiterentwicklung von Batterien mit höherer Leistungsdichte und grösseren Reichweiten werden Batteriebusse wichtiger, da diese ebenfalls lokal emissionsfrei und leise unterwegs sind. Leistungs- und Energiedichten von Batteriesystemen verbessern sich laufend und dies bei sinkenden Kosten; jedoch sind keine sprunghaften Entwicklungen zu erwarten. Damit wird der Einsatz von Batteriebussen im Linienbetrieb künftig interessant. Auf Grund der für den Fahrbetrieb benötigten Energiemenge ist der Einsatz von Batteriebussen zunächst bei kleineren Bussen im innerstädtischen Bereich und geringen täglichen Kilometerleistungen zu erwarten. Eine allfällige Zwischenaufladung während des Betriebs kann sinnvoll sein und muss auf die betrieblichen Bedürfnisse abgestimmt werden (ausreichend Zeit an den Endhaltestellen für die notwendigen Ladezyklen – Achtung: Heute wird versucht, die Wendezeiten unter Einhaltung der gesetzlichen Mindestpause für das Fahrdienstpersonal möglichst kurz zu halten). Die Batterien lassen sich über eine Zuleitung, mit Batteriewechsel, konduktiv oder induktiv laden. Auch der Batteriebus kann Bremsenergie speichern und somit die Energieeffizienz verbessern.

Starke Entwicklungen bei den Elektrobusen sind insbesondere in Asien festzustellen. Testfahrzeuge sind auch in Europa unterwegs z.B. in Pinneburg (Deutschland) ein chinesisches Fahrzeug von Eurabus. In Genf soll ab Ende 2012 ein chinesischer 12-m Elektrobus getestet werden. Dies steht im Zusammenhang mit dem im Frühjahr 2013 stattfindenden Kongress des UITP (Vereinigung der öffentlichen Verkehrsbetriebe). Der in Luzern im Oktober 2012 für einige Tage eingesetzte Prototyp des Herstellers Solaris (9 m Elektro-Midibus) zeigte gute Fahrleistungen und eine Reichweite von über 100 km ohne Batterieaufladung. Dies ist allerdings noch nicht ausreichend für die Einsatzdistanzen dieser Busgrösse.



Abbildung 13: Elektro-Midibus im Test bei den vbl (Quelle: Verkehrsverbund Luzern)

4.2.2 Fossile Traktion mit Serienreife

Dieselbusse

Dieselbusse sind seit Jahrzehnten erprobt und mit hoher Verfügbarkeit im täglichen Einsatz. Mit der laufenden Verschärfung der Emissionsgrenzwerte von Dieselmotoren konnten umfangreiche Verbesserungen im Schadstoffausstoss erreicht werden. Die beginnende Umsetzung des Euro6-Standards bringt nochmals deutliche Reduktionen, sodass „sauberer Diesel“ Realität wird. Während in den letzten Jahren die Hersteller stark damit beschäftigt waren die laufenden

Abgasnormen zu erreichen, sind aktuell sowohl bei den Fahrzeuglieferanten als auch bei den Zulieferanten Anstrengungen bemerkbar, die Energieeffizienz zu verbessern.

Die endliche Verfügbarkeit fossiler Treibstoffe, die Lärmentwicklung und die noch immer schlechtere Umweltbilanz gegenüber elektrisch angetriebenen Bussen (bei geeignetem Strom-mix) sprechen im Stadteinsatz für den zunehmenden Ablöseprozess von Dieseln Bussen durch Hybrid- bzw. mehr und mehr elektrisch angetriebene Busse. Für ländliche Einsätze mit wenigen Haltevorgängen wird der Dieseln Bus weiterhin kaum verzichtbar sein.

Hybridbusse

Beim Hybridbus ist zwischen seriellern und parallelem Antrieb zu unterscheiden. Der serielle Antrieb ähnelt in seinem Grundprinzip dem Trolleybus mit Dieseln-Notfahr-aggregat, indem der Verbrennungsmotor über einen Generator die Batterie speist bzw. den Elektromotor antreibt, welcher die Kraft auf die Achse gibt. Beim parallelen Hybridantrieb wirken Elektromotor und Verbrennungsmotor gemeinsam auf den mechanischen Antrieb (Kardanwelle auf Hinterachse). Gegenüber einem herkömmlichen Dieseln Bus können kleinere Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, da die Leistungsspitzen vom Elektromotor übernommen werden. Diese Leistungsspitzen können jedoch nur solange gedeckt werden, wie die Batterien ausreichend Energie abgeben. Aus diesem Grund sind länger ansteigende Strecken bei diesem Konzept nur beschränkt möglich und die Agilität ist erheblich eingeschränkt. Eine höhere Leistung des Dieseln Motors würde den hauptsächlichen Effekt des Hybridprinzips ad absurdum führen und im Innenraum wertvolle Fahrgastkapazität benötigen (vgl. Hess Hybrid XXL).

Gleich wie beim Batteriebus findet die Entwicklung zu immer besseren Batterien statt. Damit sind zunehmend grössere Treibstoffeinsparungen möglich. Mit aktuellen Systemen können bei Standardbussen ca. 30% Dieseln eingespart werden [7], wobei immer noch rund 35 Liter Dieseln pro 100 km verbraucht werden. Bei Gelenkbussen sind die Treibstoffeinsparungen mit unter 10% deutlich geringer [22], dies hängt jedoch vom Fahrzeug- und vom Einsatzkonzept ab. Ein Hybridbus ist in der Anschaffung ca. 25% teurer (Mehrkosten variieren je nach Antriebskonzept stark und können bis zu 60% betragen). Im Gegensatz zum Batteriebus finden die Ladezyklen im laufenden Betrieb über das Bremsen oder über den Dieseln Motor statt.

Hybridbusse werden oft als Übergangstechnologie zwischen Dieseln- und Batteriebusen dargestellt. Der Hybridbus ist jedoch eher ein „effizienzgesteigerter Dieseln Bus“, welcher künftig auch als Plug-in Fahrzeug auf den Markt kommen wird, um den Dieseln Verbrauch nochmals zu senken. Somit scheint ein erhebliches Marktpotential für diese Antriebsart gegeben, sofern Fahrzeuge zu Konditionen angeboten werden, welche den Betreibern einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglichen. Derzeit ist die Wirtschaftlichkeit von Hybridbussen noch nicht erreicht.



Abbildung 14: Hybrid-Standardbus der vbl im Testeinsatz (Quelle: www.vbl.ch)

Gasbusse

Gasbusse sind erprobt. Die Betankung inkl. der notwendigen Anlage bleibt aber eine Herausforderung. Aus Klimasicht ist Biogas dem Erdgas gegenüber vorteilhafter. Der Einsatz von Gasbussen kann dort zweckmässig sein, wo ohnehin (Bio-) Gas anfällt. Die von einem städtischen Verkehrsbetrieb geforderten Mengen fallen jedoch meist nicht lokal an.

Eine Weiterentwicklung von Gasbussen ist nicht feststellbar. Bei anspruchsvollen Streckenprofilen muss das Motordrehmoment beachtet werden, da der Gasmotor auf einem Benzinmotor basiert. Die Problematik von Gasbussen ist die aufwändigere Depotinfrastruktur für Gaskompression, Betankung und für die notwendigen Sicherheitseinrichtungen.

4.2.3 Systeme im Versuchsstadium

Brennstoffzellenbusse

Die Entwicklung von Brennstoffzellenbussen läuft seit vielen Jahren und ist geprägt von sich abwechselnden Meldungen über Erfolge und Rückschläge. Postauto Schweiz testet seit Dezember 2011 in Brugg Brennstoffzellenbusse im Rahmen eines internationalen Forschungsprojektes. Die Fahrzeuge bei Postauto haben im Versuchsbetrieb inzwischen akzeptable Reichweiten von 400 km pro Tankfüllung erreicht. Brennstoffzellenbusse benötigen eine eigene und aufwändige Betankungsinfrastruktur. Beim Postauto-Versuchsbetrieb wurde der benötigte Wasserstoff zuerst extern zugeführt, in einer zweiten Phase wird der Wasserstoff über eine Elektrolyseanlage im Fahrzeug erzeugt.

Energetisch betrachtet ist die Verwendung von Wasserstoff nur dort sinnvoll, wo Wasserstoff ohnehin als Abfallprodukt (z.B. aus Chemieanlagen) vorhanden ist, oder wo aus der Produktion von erneuerbaren Energien Produktionsüberschüsse zu verzeichnen sind, wofür Wasserstoff als Energiespeicher verwendet werden kann. Ansonsten ist der Brennstoffzellenbus energetisch nicht sinnvoll.

„Trolleybus“ mit Zwischenaufladung (TOSA)

In Genf wird im Frühling 2013 zum Start der UITP ein neuartiges „Trolleybus“-System getestet, bei welchem Elektrobusse an den Haltestellen über eine obenliegende Konstruktion eine kurze Zwischenaufladung der Batterien erfahren (ca. 15 Sekunden an den Zwischenhaltestellen und 3 Minuten an den Endhaltestellen). Damit entfallen zwar Fahrleitungen, aber es müssen Zuleitungen im Untergrund erstellt werden, welche ebenfalls kostenintensiv sind.

AutoTram Extra Grand

Kürzlich wurde vom Fraunhofer Institut ein 30.5 m langer Doppelgelenkbus als Pilotprojekt vorgestellt, welcher einen diesel-elektrischen Hybridantrieb mit einem grossen Energiespeicher besitzt. Ein Dieselmotor, welcher den Generator antreibt, befindet sich im Heck. Bedarfsspitzen werden über einen zweiten Dieselmotor im Frontmodul abgedeckt, welcher einen wesentlichen Teil des Fahrgastraums beansprucht. Kern dieses Projektes ist die spurtreue Führung durch Lenkung von vier der fünf Achsen und neuartige Gelenkkonstruktionen.

Für Luzern ist dieses Hybrid-Konzept kaum geeignet, weil es sich einerseits noch im Versuchsstadium befindet und die Praxistauglichkeit noch nicht bewiesen ist. Der Bus stand bisher noch nicht im Linieneinsatz. Andererseits wären durch die Fahrzeuglänge weitere, schwierig zu reali-

sierende Anpassungen an Haltestelleninfrastrukturen erforderlich. Zudem geht durch die beiden Motoren wertvolles Volumen im Fahrgastraum verloren.

„E-Highway“

Siemens entwickelt unter dem Begriff „E-Highway“ Elektrobetrieb bei Lastwagen. Dabei verfügen Lastwagen über Hybridantriebe und Stromabnehmer. Auf von Lastwagen stark befahrenen Autobahnen kann so bspw. an der Fahrleitung gefahren werden, auf fahrleistungslosen Strassen über den Dieselhybridantrieb. [17]

4.2.4 Übersicht Doppelgelenkbusse

Doppelgelenkbusse werden auf Basis von Trolley-, Dieselhybrid- und Dieselbussen angeboten.

Trolleybusse und Dieselhybridbusse mit seriellem Antriebskonzept werden ohne zwischenliegendes Getriebe von direkt bei den Antriebsachsen liegenden Motoren angetrieben. Dieselhybridbusse mit parallelem Antrieb und herkömmliche Dieselbusse haben hingegen einen üblicherweise im Heck befindlichen Motor, welcher über ein Getriebe und eine Welle die nächstgelegene Achse antreibt. Dies führt dazu, dass bei letzterem Antriebskonzept unabhängig der Gefässgrösse nur eine einzige Achse angetrieben werden kann und sich der Motor im selben Fahrzeugteil befinden muss. Bei ersterem Antriebskonzept können hingegen mehrere Achsen parallel angetrieben werden, wodurch sich die Traktion verbessert. Der Dieselmotor muss sich dabei nicht zwingend im selben Fahrzeugteil befinden.

Bei Doppelgelenkbussen ist neben der ersten meist auch die vierte Achse gelenkt, um eine nahezu identische Schleppkurve wie Gelenkbusse zu erreichen. Bei Bussen ist der Antrieb an gelenkten Achsen unüblich. Deshalb muss sich bei Doppelgelenkdieselbussen (mit Wellenantrieb) der Motor zwingend im vorderen oder mittleren Fahrzeugteil befinden und dabei die zweite oder die dritte Achse antreiben. Dies führt zu einem Motorenturm mitten im Fahrgastraum (vgl. Van Hool AGG300 oder AutoTram Extra Grand), welcher im Innenraum eine höhere Geräuschkulisse aufweist als ein Motor im Heck. Bei seriellem Hybridantrieb oder Trolleybussen ist kein Wellenantrieb notwendig. Der Dieselmotor bzw. die Batterie kann sich somit auch im Heck befinden und die leisen Elektromotoren können unmittelbar bei den angetriebenen Achsen platziert werden. Hiermit können auch mehrere Achsen miteinander angetrieben werden.

Doppelgelenktrolleybusse mit zwei angetriebenen Achsen und einem Energiespeicher (statt dem Hilfsmotor) vermögen die geforderte Leistung in allen Betriebszuständen (auch auf kurzen Strecken ohne Fahrleitung) abzurufen.

Doppelgelenkdieselbusse wurden bisher bspw. in Genf, Eindhoven, Hamburg, Göteborg, Bogota und Curitiba eingesetzt. Die Erfahrungen sind selbst in diesen flachen Einsatzgebieten durchzogen, da das Beschleunigungsvermögen im Vergleich zu herkömmlichen Gelenkdieselbussen geringer und die Wintertauglichkeit nicht gegeben ist. Zudem war die Verfügbarkeit der eingesetzten Busse unterdurchschnittlich. Daher kann diese Technik nicht als betriebserprobt bezeichnet werden.

4.3 Fazit

Die endlichen fossilen Energieträger werden einerseits zunehmend schwieriger verfügbar, andererseits ist deren Nutzung mitverantwortlich für die stattfindende Klimaerwärmung. Dies ist ein Grund, warum die Elektromobilität als zukunftsweisend zu bezeichnen ist. Je nach Einsatzgebiet und Anforderungen stehen unterschiedliche Antriebskonzepte im Vordergrund.

Diesel- und Trolleybusse sind serienreif, haben sich im täglichen Betrieb bewährt und werden laufend weiterentwickelt. Die Entwicklung von Hybrid- und Elektrobussen ist in vollem Gange. Sie sind zwar serienreif erhältlich, sind derzeit jedoch eher ein Nischenprodukt. Die Wirtschaftlichkeit konnte bei diesen Konzepten bisher noch nicht bewiesen werden. Bei Gasbussen ist derzeit keine Weiterentwicklung feststellbar.

Verschiedene Antriebskonzepte wie Brennstoffzellenbusse, Trolleybusse mit Zwischenaufladung und E-Lastwagen sind noch im Versuchsstadium.

Sind im Busbereich grosse Kapazitäten erforderlich, bieten Doppelgelenkbusse eine gute Option. Auch bei Doppelgelenkbussen sind unterschiedliche Antriebskonzepte denkbar. Der Trolleybus bietet hier gegenüber anderen Konzepten deutliche Vorteile im täglichen Betrieb und für die Fahrgäste.

5 Anforderungen in der Agglomeration Luzern

5.1 Kriterien

Die künftige Entwicklung des Busnetzes hängt von an den öffentlichen Verkehr aus verschiedenen Sichtweisen gestellten Anforderungen ab. Massgebend für die Erarbeitung der Strategie sind dabei die vorhandenen Fahrzeuge und Infrastrukturen, die absehbare Entwicklung dieser Komponenten, sowie die zu erwartenden Entscheidungszeitpunkte (vor Erneuerungsbedarf von Infrastruktur und Fahrzeugen). Für eine solide Basis werden bzgl. Fahrzeugtechnologie nicht nur Trolleybusse, sondern ebenfalls vergleichbare Antriebssysteme untersucht.

Kapazität

Anforderung	Kriterien	Ansätze
Hohe Kapazität auf den Hauptachsen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kapazität pro eingesetztes Fahrzeug ▪ Gesamtkapazität ▪ Anzahl eingesetzte Fahrzeuge ▪ Betriebsstabilität 	Als wirtschaftlichen Lösungsansatz bietet sich dazu bspw. eher ein Angebot im 7.5'-Takt mit grossen Gefässen als eines im 5'-Takt mit kleineren Gefässen an. Mit Taktintervallen von 5' und kleiner nimmt das Risiko von ineffizienten Paketbildungen zu. Grössere Taktintervalle mit grossen Gefässen mindern dieses Risiko.
Hohe Beförderungsleistung auf Hauptachsen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beförderungsleistung pro Stunde und Richtung ▪ Beförderungsgeschwindigkeit ▪ Betriebsstabilität 	Unabhängig von der Systemwahl, aber ebenfalls eine wichtige Anforderung ist eine hohe Reisegeschwindigkeit. Eine solche, verbunden mit regelmässigen Fahrten mit grosser Kapazität, erbringt sehr grosse Beförderungsleistungen. Durch effiziente Buspriorisierung wird neben der Erhöhung der Reisegeschwindigkeit auch die Gefahr von Paketbildung vermindert.

Tabelle 7: Anforderungen Kapazität

Betrieb

Anforderung	Kriterien	Ansätze
Beibehalt erprobter bzw. bewährter Systeme; keine Versuche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zuverlässiger Betrieb ▪ Überschaubarer Traktionsmix ▪ Robuste Betriebsmittel 	Die betriebliche Sicherheit ist nicht nur ein Image-, sondern auch ein positiver Kostenfaktor. Versuchsbetriebe mit einem höheren Ausfallrisiko verärgern Betreiber und Kunden. Erprobte Systeme mit hoher Zuverlässigkeit schaffen Vertrauen.

> Fortsetzung Tabelle auf folgender Seite

Anforderung	Kriterien	Ansätze
Effizienter Ressourceneinsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebsstabilität ▪ Gleichmässige Auslastung des Angebots ▪ Keine Überlagerungen ▪ Betriebseffizienz 	Die einzelnen Kurse sollen gleichmässig und möglichst gut ausgelastet sein. Dies wird über eine entsprechende Liniennetzgestaltung und/oder angepasste Taktintervalle und Gefässgrössen (vgl. oben) erreicht. Ungleich ausgelastete Kurse und Überlagerungen führen zu einem ineffizienten Betrieb und damit höheren Kosten.
Leistungsfähige Traktion in allen Situationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Betriebsstabilität ▪ Betriebssicherheit 	Ein gutes Beschleunigungsvermögen auch bergwärts, sowie ein agiles Mitschwimmen im Verkehr sorgen für eine hohe Betriebsstabilität. Eine gute Traktion auch bei winterlichen Strassenverhältnissen und auf Steigungsstrecken schafft Betriebssicherheit.

Tabelle 8: Anforderungen Betrieb

Umwelt

Anforderung	Kriterien	Ansätze
Der örtlichen Situation angepasste Umweltstandards	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umweltstandard für ÖV abhängig von der Immissionssituation ▪ Auf Hauptachsen und im innerstädtischen Gebiet höchster Umweltstandard 	Städtische Strassen und Hauptachsen in den Agglomerationen gehören zu den höchstbelasteten Gebieten bzgl. Lärm- und Luftschadstoffemissionen. An diesen Standorten soll der Umweltstandard für den Verkehr, speziell für den öffentlichen Verkehr, am grössten sein.
Geringe Lärm- und Luftschadstoffemissionen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringe Lärmemissionen inner- und ausserhalb des Fahrzeugs ▪ Geringe Luftschadstoffemissionen (Auspuff, Abrieb) am Einsatzort ▪ Geringe Luftschadstoffemissionen (Schadstoffe) am Ort der Energiegewinnung 	An den erwähnten höchstbelasteten Standorten sollen die Emissionen von Lärm und Luft tief sein. Leise und schadstofffreie bzw. -arme Busse vermindern die Umweltbelastungen an diesen Standorten. Eine geringe Umweltbelastung durch Lärm- und Luftschadstoffemissionen vermindert die externen Kosten (im Sinne von Umweltschäden, bspw. negative Auswirkungen auf die Gesundheit oder das Klima)
2000-Watt-Kompatibilität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringer Primärenergieverbrauch ▪ Nutzung erneuerbarer Energieträger ▪ Tiefe CO₂-Emissionen 	Der von der öffentlichen Hand bestellte öffentliche Verkehr muss die politischen Zielsetzungen im Bereich der Energie- und Klimapolitik erfüllen.

Tabelle 9: Anforderungen Umwelt

Wirtschaftlichkeit

In den oben genannten Anforderungen ist auch die Anforderung nach guter Wirtschaftlichkeit enthalten, einerseits durch direkte kostenrelevante Faktoren (bspw. Betriebskosten), andererseits durch indirekte Faktoren (bspw. externe Kosten).

Anforderung	Kriterien	Ansätze
Effizienter Ressourceneinsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiefe Betriebskosten ▪ Keine Doppelspurigkeiten ▪ Betriebsstabilität 	Mit grösseren Gefässen statt dichterem Takt, gleichmässig ausgelasteten Fahrzeugen und dem Einsatz von bewährten Fahrzeugen lassen sich die Betriebsmittel effizient einsetzen. Mit der Amortisation und damit Weiternutzung der bestehenden Infrastruktur lassen sich zudem die auf die Betriebskosten abgewälzten Infrastrukturkosten tief halten.
Gute gesamtwirtschaftliche Bilanz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiefe externe Kosten ▪ Tiefe Betriebskosten 	Geringe Lärm- und Luftemissionen senken die externen Kosten und tragen so zu einer besseren volkswirtschaftlichen Bilanz des öffentlichen Verkehrs bei. Insbesondere an hochbelasteten Standorten sind die Auswirkungen der Emissionen auf die Gesundheit und damit die Gesundheitskosten mit zu berücksichtigen.
Stärkung der bestehenden Netzinfrastuktur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Netzkilometer pro gefahrene Betriebskilometer ▪ Keine Doppelspurigkeiten 	Die bestehende Infrastruktur und das bestehende Rollmaterial sollen wirtschaftlich verwendet und weitergenutzt werden.

Tabelle 10: Anforderungen Wirtschaftlichkeit

5.2 Systemreduktion

Aufgrund der Anforderungen und der Ausführungen in den vorangehenden beiden Kapiteln kommen nur einzelne der genannten Fahrzeugtypen bzw. Traktionssysteme für einen tiefergehenden Systemvergleich in Frage.

	Anforderungen	Geeignete Fahrzeugtypen	Geeignete Traktion
Kapazität	Hohe Kapazität auf den Hauptachsen	▪ Doppelgelenkbus	▪ Trolleybus
	Hohe Beförderungsleistung auf Hauptachsen	▪ Doppelgelenkbus	▪ Trolleybus
Betrieb	Beibehalt erprobter bzw. bewährter Systeme; keine Versuche	▪ Je nach Nachfrage	▪ Trolleybus, Dieselbus
	Effizienter Ressourceneinsatz bzw. gleichmässige Auslastung des Angebots	▪ Je nach Einsatzgebiet ▪ Tendenz zu grossen Gefässen	▪ Alle
	Gute Traktion in allen Situationen	▪ Doppelgelenk- / Gelenkbus ▪ Standardbus	▪ Trolleybus ▪ Alle
Umwelt	Der örtlichen Situation angepasste Umweltstandards	▪ Alle	▪ Trolleybus, Elektrobus
	Geringe Lärm- und Luftschadstoffemissionen	▪ Alle	▪ Trolleybus, Elektrobus
	2000-Watt-Kompatibilität	▪ Alle	▪ Trolleybus, Elektrobus
Wirtschaftlichkeit	Effizienter Ressourceneinsatz	▪ Doppelgelenkbus ▪ Gelenkbus	▪ Trolleybus, (Dieselbus)
	Gute gesamtwirtschaftliche Bilanz	▪ Je nach Einsatzgebiet ▪ Tendenz zu grossen Gefässen	▪ Diesel-/Trolleybus ▪ Trolley bei grossen Gefässen
	Stärkung der bestehenden Netzinfrastruktur	▪ Alle	▪ Trolleybus

Tabelle 11: Überblick Systemreduktion

5.3 Fazit

- Wo die Kapazität von Doppelgelenkfahrzeugen erforderlich ist (bspw. Hauptlinien), erfüllt das Trolleybussystem heute und auf absehbare Zeit als einzige Traktion alle genannten Anforderungen in der gewünschten Betriebsqualität.
Wo Standardbusse zur Bewältigung der Nachfrage reichen, dürfte der Elektrobus die Anforderungen zunehmend besser erfüllen. Derzeit ist der Batteriebus ein Nischenprodukt. Für grössere Gefässe, d.h. Gelenk- und Doppelgelenkbusse, wird sich der Elektrobus auf absehbare Zeit kaum durchsetzen können.

- Die Erfüllung der betrieblichen und wirtschaftlichen Anforderungen kann sich je nach Einsatzgebiet völlig unterscheiden. Hierbei ist linien- bzw. streckenbezogen der optimale Traktions- bzw. Fahrzeugtyp zu bestimmen.
- Wo die Umwelanforderungen hoch sind, sind elektrisch angetriebene Busse (mit Batterie oder als Trolleybus) die beste Lösung. Beim Batteriebus ist hierbei der höhere Anteil grauer Energie zu berücksichtigen.
- Trolleybusssysteme sind insbesondere da wirtschaftlich, wo bereits auf einem bestehenden Netz aufgebaut werden kann. Dies ist Luzern der Fall.

Der Fokus der Trolleybusstrategie liegt auf den nachfragestarken Strecken bzw. Linien. Dafür kommen nur die Gefässgrößen Gelenk- und Doppelgelenkbus in Frage. Auf Stufe Doppelgelenkbus erfüllt derzeit als einzige Traktionsform das Trolleybusssystem sämtliche Anforderungen. Auf Stufe Gelenkbus sind Diesel- und Trolleybusse als bewährte Systeme verfügbar. Zudem ist beim Hybridbus die Wirtschaftlichkeit noch nicht erreicht. Für den direkten Systemvergleich werden somit die beiden Traktionsarten Trolley und Diesel herangezogen.

6 Vergleich Systeme

6.1 Vergleich Hauptanforderungen

Kapazität

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Grösstmögliches, erprobtes Fahrzeug	Doppelgelenkbus	Gelenkbus
Max. Platzangebot	110 (Sitzpl. + 2 Pers./m ² Stehpl.)	71 (Sitzpl. + 2 Pers./m ² Stehpl.)

Tabelle 12: Faktenübersicht Kapazität

Doppelgelenktrolleybusse müssen bei gleicher Kapazität weniger häufig verkehren als Gelenkbusse (bspw. nur noch alle 7.5' statt alle 5'). Dadurch lassen sich einerseits die bei dichten Takten entstehende Paketbildung verhindern und andererseits betriebliche Ressourcen einsparen.

Ein Ausbau der Kapazität kann mit anderen Systemen wie bspw. einem BRT¹-ähnlichen System und/oder grösseren Gefässen erfolgen. Das BRT-System liegt dabei bezüglich Kapazität zwischen Bus und einer Stadtbahn, insbesondere auch durch die Beförderungsgeschwindigkeit begründet. Nebst Doppelgelenkbussen zur Vergrösserung der Kapazität führt eine Beschleunigung zu gleichen oder gar geringeren Kosten.

Betrieb

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Antrieb	Zweiachsig	Einachsig
Flexibilität	Möglich (Hilfsmotor)	Keine Einschränkungen
Einsatzbereich	In Trolleybusnetz unbeschränkt, ausserhalb kurze Dienstfahrten	Polyvalent
Topografie	Steigungsfreudig	Beschränkt
Umleitungen	Teilw. aufwändig	Keine Einschränkungen

Tabelle 13: Faktenübersicht Betrieb

Mit dem zweiachsigen Antrieb sind kapazitätsstarke Doppelgelenkbusse agiler im Strassenverkehr und selbst schwierige Strassenverhältnisse problemlos zu bewältigen. Dies macht grosse Gefässe sicher, zuverlässiger und gut beherrschbar. Dank der hohen Kapazität pro Fahrzeug verringert sich das Risiko von Paketbildung. Damit ist ein regelmässiger Takt möglich und können die Betriebsmittel effizient eingesetzt werden.

Nachteilig ist die Bindung der Trolleybusse an ihre Fahrleitungsinfrastruktur, ausgenommen von

¹ BRT: wörtlich Bus Rapid Transit. Auch Busway genannt. Mittels infrastrukturellen und fahrplantechnischen Massnahmen, verbunden mit einem speziellen Image, soll gegenüber normalen Buslinien ein höherer Qualitätsstandard erreicht werden. Ziel der Verbesserungen ist die Annäherung an Qualitätsstandards von urbanen Schienennahverkehrssystemen, dabei aber die Kostenvorteile des straßengebundenen Verkehrsmittels Bus zu nutzen.

kürzeren Abschnitten bei Störungen oder Umleitungen. Sie erfordert eine höhere Reservehaltung an Dieselbussen bei grösseren Zwischenfällen oder aufwändige Umleitungsprovisorien.

Umwelt

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Energieeffizienz Primärenergie	Geringer Primärenergieverbrauch sofern der Strom aus erneuerbaren Quellen stammt	Höherer Primärenergieverbrauch
CO ₂ -Emissionen	Geringerer CO ₂ -Ausstoss abhängig vom Strommix	Hoher CO ₂ -Ausstoss proportional zum Treibstoffverbrauch
Feinstaub	Russ, Reifen-/Bremsabrieb, Fahrleitungsabrieb	Russ, Reifen-/Bremsabrieb
Stickoxid	Kein Ausstoss vor Ort; Schadstoffausstoss generell abhängig vom Strommix	Mit jeder Motorengeneration bessere Werte
Lärmemissionen	Geringer als Dieselbus, insb. in Steigungen	Mittel
Rekuperation	Direkt ins Fahrleitungsnetz oder mittels Energiespeicher an Bord	Mit Energiespeicher an Bord möglich (Hybridbus)

Tabelle 14: Faktenübersicht Umwelt

Bezüglich Energieverbrauch, CO₂- und Lärm-Emissionen ist der Trolleybus dem Dieselbus deutlich überlegen. Bezüglich Luftbelastung entfallen beim Trolleybus die Auspuff-Emissionen, dafür fallen zusätzliche Abrieb-Emissionen von der Fahrleitung an. Beim Dieselbus verbessern sich die Auspuff-Emissionen mit der laufenden Weiterentwicklung der Abgasnachbehandlungssysteme. Resultate von Vorbeifahrtmessungen zeigen für einen vbl-Gelenktrolleybus der neuesten Generation 72.6 dB (A) bei v = 40 km/h im Fahrleitungsbetrieb und bei einem ZVB-Standardbus 78 dB (A) bei v = 34 km/h. [28] Bei diesen Angaben ist zu berücksichtigen, dass die Lärmwahrnehmung aufgrund unterschiedlicher Frequenzen subjektiv ist.

Wirtschaftlichkeit

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Betriebskosten	CHF 9 – 11 pro km (inkl. anteilmässiger Abschreibung der Infrastruktur, bspw. Fahrleitung)	CHF 7 – 9 pro km
Infrastrukturkosten	In Betriebskosten bereits enthalten	
Externe Kosten	Geringere Umwelt- und Gesundheitskosten	Höhere Umwelt- und Gesundheitskosten
Planungssicherheit	Hoch	Geringer

Tabelle 15: Faktenübersicht Wirtschaftlichkeit

Die Bilanz aller Wirtschaftlichkeitsaspekte zwischen Trolley- und Dieselbussen ist ziemlich ausgeglichen. Die wesentliche Kostendifferenz zwischen Trolley- und Dieselbusbetrieb liegt in den fixen Infrastrukturkosten. Diese machen jedoch nur einen geringen Anteil einer betrieblichen Vollkostenrechnung aus. Trolleybusse lohnen sich somit wegen der beträchtlichen Investitionen in Fahrleitungen im Allgemeinen nur bei kurzen Taktfolgen (mind. 10'-Takt) und damit auf nachfragestarken Linien. Je dichter die Taktfolge, desto geringer der kostenmässige Nachteil des Trolleybusses gegenüber dem Dieselbus.

Nach bisheriger Praxis wurden in Luzern u.a. die Fahrleitungsinvestitionen über rund 30 Jahre Abschreibungsdauer auf die Betriebskosten abgewälzt, weshalb Trolleybusse gegenüber Dieselbussen höhere Betriebskosten aufweisen (vgl. Tabelle). Im Konzept Rontal wird bspw. aufgezeigt, dass die Kostenunterschiede zwischen Diesel- und Trolleybusprojekt, inklusive Fahrleitungsinvestitionen) nur rund 2% betragen (ca. CHF 0.4 Mio. pro Jahr). Künftig werden Fahrleitungsinvestitionen à fonds perdu vom Kanton Luzern (vif) bezahlt, während die Betriebskosten langfristig nur die effektiven Fahrleistungen enthalten und vom Verkehrsverbund Luzern abgegolten werden. Damit sind Betriebskosten von Trolley- und Dieselbuslinien nahezu identisch. An den Gesamtkosten ändert sich hingegen nichts.

Durch den Einsatz von kapazitätsstarken Doppelgelenktrolleybussen sind für die gleiche Kapazität weniger Fahrzeuge notwendig, als wenn Gelenkbusse eingesetzt würden. Damit können die Betriebskosten pro km gesenkt werden. Zwar kostet ein Doppelgelenktrolleybus rund CHF 1.7 Mio., währenddessen ein Gelenkdieselbus rund CHF 0.6 Mio. kostet. Trolleybusse werden dafür über eine deutlich längere Zeit abgeschrieben. Zentraler Kostenpunkt des ÖV-Betriebs sind zudem die Personalkosten, welche bei weniger, dafür grösseren Gefässen geringer ausfallen. Zudem wird bei geringerer Anzahl eingesetzter Fahrzeuge eine verbesserter Regelmässigkeit und damit eine gleichmässigerer Auslastung erzielt. Dies hat einen positiven Effekt auf die effektiv vorhandene Beförderungskapazität, weil mit verbesserter Regelmässigkeit die Paketbildungen wegfallen.

Für die Trolleybuslinien wurden im Jahre 2011 Abgeltungen von CHF 8 Mio. bei 27.7 Mio. Einsteigern bezahlt. Im Vergleich dazu wurden für die vbl-Dieselbuslinien im Jahre 2011 CHF 15.3 Mio. Abgeltungen bei 18.7 Mio. Einsteigern bezahlt. Dies zeigt die gute Wirtschaftlichkeit der Trolleybuslinien.

Der Trolleybus weist trotz insgesamt höherer Kosten pro km deutliche Vorteile bei den externen Kosten auf. Aus volkswirtschaftlicher Gesamtsicht sind positive Effekte zu erwarten. Die öffentliche Hand als Bestellerin von Transportleistungen hat ein Interesse an der Einsparung von Emissionen – spricht an der Einsparung von Folgekosten. Einsparungen bei den externen Kosten sind somit ein wesentliches Verkaufsargument für eine höhere Umweltfreundlichkeit.

Mit der langen Fahrzeug- und Infrastrukturlebensdauer sind die Investitionen in Trolleybusssysteme nachhaltig und gewähren so eine Planungssicherheit für alle Beteiligten und insbesondere Investoren als potentielle Anstösser und somit Kunden der Linien. Hingegen kann die lange Fahrzeuglebensdauer der Akzeptanz der Fahrgäste abträglich sein.

6.2 Vergleich weiterer Themen

Fahrgastkomfort

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Geräuschkulisse innerhalb Fahrzeug	Gering	Deutlich hörbar
Fahrverhalten	Stufenlose Fahrt	Schaltvorgänge, Tendenz Richtung nahezu stufenlos

Tabelle 16: Faktenübersicht Fahrgastkomfort

Der Trolleybus ist bezüglich Komfort zwischen einem Dieselbus und einem Tram anzuordnen. Das Fahrverhalten in der Horizontalen ähnelt dem Tram (stufenlose Beschleunigung), weist jedoch die Vertikalerschütterungen eines herkömmlichen Busses auf. Aufgrund des elektrischen Antriebs ist zudem die Geräuschkulisse innerhalb des Fahrzeugs deutlich geringer als in einem Dieselbus.

Netzentwicklung

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Flexibilität Linienweganpassungen	Beschränkt	Hoch
Planungssicherheit	Hoch	Beschränkt
Topografie	Unabhängig	Beschränkt
Prozessrisiken Netzerweiterungen	Hoch	gering

Tabelle 17: Faktenübersicht Netzentwicklung

Trolleybusinfrastrukturen (Fahrleitung, Gleichrichter, u.a.) sind langfristige und hohe Investitionen. Die Linienführung einer Trolleybusstrecke ist daher sehr statisch und bietet so den Investoren im Einzugsgebiet der Linie Planungssicherheit für eine langfristige, attraktive ÖV-Erschliessung. Beim Bau neuer Trolleybusstrecken bestehen hingegen Prozessrisiken. Die Akzeptanz für die Erstellung der notwendigen Infrastruktur kann bei einzelnen Anstössern sehr gering sein (insbesondere bei Landbedarf für Fahrleitungsmasten).

Die erwähnte Langfristigkeit verhindert allenfalls sinnvolle Anpassungen des Trolleybusnetzes an neue Bedürfnisse. Problemlos dürfte dieser Umstand auf dem Kernnetz im Zentrum und auf den Hauptachsen sein, wo kaum Nachfrageänderungen auftreten dürften.

Trolleybusse eignen sich dank dem zweiachsigen Antrieb (Traktion) und des elektrischen Antriebs (Geräuschkulisse) besonders für steigungsreiche Strecken und in verkehrsarmen Quartieren.

Das heutige Trolleybusnetz deckt die Durchmesserlinien ab, wo am gleichen Perron sämtliche

Umsteigebeziehungen möglich sind. Eine Stärkung des Trolleybusnetzes führt wohl über die Bildung von zusätzlichen Durchmesserlinien.

Infrastruktur

Kriterium	Trolleybus	Dieselbus
Sichtbarkeit	Ja	gering
Vereinbarkeit mit Stadtbild	Beschränkt (Fahrleitung ästhetisch teilw. problematisch)	-
Umleitungen	Aufwändige Provisorien oder geringe Flexibilität	Keine Einschränkungen
Belastungen	Erhöhte Infrastrukturbelastung falls die Achslasten über das gesetzliche Maximum erhöht werden	Normale Achslasten

Tabelle 18: Faktenübersicht Infrastruktur

Die für den Trolleybusbetrieb erforderliche Fahrleitung ist der eigentliche Schwachpunkt der Traktion Trolleybus. Sie löst hohe Investitionskosten aus und beeinträchtigt das Stadtbild. Sie erfordert zudem einen speziellen Aufwand im Rahmen von Bauvorhaben in der Nachbarschaft (Abspannung an den Gebäuden und Gewährleistung der Sicherheit). Die Bindung an die Infrastruktur erfordert aktuell teilweise aufwändige provisorische Lösungen bei betrieblichen Sonderfällen wie bspw. geplanten Umleitungen oder das Vorhalten von Ersatzdieselnissen. Andererseits ist die Fahrleitung eine sichtbare Infrastruktur der nachhaltigen städtischen Mobilität und eine Orientierungshilfe im Liniennetz des öffentlichen Verkehrs.

Image / Akzeptanz

Der Trolleybus wird von den Kunden derzeit allgemein als hochwertiger wahrgenommen, weil er gegenüber dem Dieselbus leise, umweltfreundlich und (nahezu) emissionsfrei verkehrt. Die Fahrleitungen dienen mit ihrer ständigen visuellen Präsenz im Strassenraum als Erkennungsmerkmal des ÖV und dank der sichtbaren Linienführung als Orientierungshilfe.

Bezüglich Wahrnehmung liegt er irgendwo zwischen dem Dieselbus und dem Tram; auf jeden Fall wird der Trolleybus als Hauptbestandteil des ÖV-Netzes wahrgenommen.

Je nach Blickwinkel vereinigt er die Vorteile der beiden Systeme: die hohe Kapazität, die Umweltaspekte und die Präsenz im Strassenraum eines Trams und trotzdem eine gewisse Flexibilität des Busses (bspw. umfahren eines auf der Fahrbahn befindlichen Hindernisses). Oder der Trolleybus vereinigt bei negativer Betrachtung die Nachteile der beiden Systeme: die beschränkte Flexibilität, die störende Fahrleitungen, die höheren Infrastrukturkosten und die Realisierungsrisiken eines Trams und die erschütterungsreiche Fahrt und fehlende Zugbildungsmöglichkeit (beschränkte Kapazität) eines Busses. Teilweise werden Trolleybusse als veraltete Technik, teilweise auch als innovative Zukunftssparte gesehen. Die Sichtweise hängt dabei wesentlich von der Stellung des Trolleybusnetzes im Kontext zum übrigen ÖV-Netz, der Positionierung des ÖV gegenüber dem Kunden im jeweiligen Einsatzort und der politischen Unterstützung ab.

Bei Neubauprojekten ist die Einstellung gegenüber dem Trolleybus sehr unterschiedlich. Von allfälligen Infrastruktureingriffen betroffene Anstösser können sehr ablehnend reagieren, wäh-

renddessen andere Anstösser die Vorteile der neuen Traktion oder der neuen Erschliessung hervorheben. Eine gewisse Gefahr für den langlebigen Trolleybus besteht durch wechselnde politische Präferenzen.

Konzessionen

Bisher liegen die Konzessionen für Betrieb der Linien und der Infrastruktur in einer Hand (vbl). Mit dem Projekt Seetalplatz ändert die Philosophie: Die Erstellung der Infrastruktur finanziert der Kanton, die Kosten des Betriebs liegen beim Betreiber (vbl).

Die bisherige Praxis erlaubt Planungssicherheit und Konstanz für Besteller und Betreiber. Andererseits ist dadurch eine potentielle Marktbehinderung durch die unterschiedliche rechtliche Behandlung von Trolley- und konventionellen Buslinien möglich.

6.3 Fazit

Aus dem oben genannten Vergleich zwischen Trolley- und Diesebussen stechen folgende hauptsächlichsten Vorteile des Trolleybusses hervor:

- **Kapazität:**
In Luzern verkehren die Trolleybuslinien auf den Hauptverkehrsachsen. Die grosse Nachfrage kann mit den betriebserprobten Doppelgelenktrolleybussen wirtschaftlich transportiert werden. Für ein sicheres Vorankommen in anspruchsvollen Topografien sind zwei angetriebene Achsen erforderlich, was auf absehbare Zeit nur mit dem Trolleybus zweckmässig umsetzbar ist.
- **Umwelt, Emissionen:**
Der Betrieb von Trolleybussen bietet sich aufgrund der geringen Lärm- und Luftschadstoffemissionen dort an, wo bereits hohe Immissionen die Bevölkerung belasten: Im Agglomerationszentrum und auf den Hauptverkehrsachsen.
- **Umwelt, Energieeffizienz und Klimaschutz:**
Trolleybusse verursachen gegenüber Diesebussen markant geringere CO₂-Emissionen und haben bei Verwendung von erneuerbarem Strom einen deutlich geringeren Primärenergieverbrauch. Die vom Bremsen rekuperierte Energie kann für die Bergfahrt des entgegenkommenden Busses oder für die eigene Weiterfahrt verwendet werden.
- **Wirtschaftlichkeit:**
Trolleybusse sind eine langfristige Investition für einen ökologischen und nachhaltigen Stadtverkehr und aufgrund der Planungssicherheit ein potentieller Standortvorteil. Die fortlaufend erneuerten Anlagen sind noch lange nicht abgeschlossen. Die erwartete grosse Nachfrage kann mit einer geringeren Anzahl Doppelgelenktrolleybussen wirtschaftlicher abgewickelt werden als mit einer grösseren Anzahl Gelenkbussen.
- **Image:**
Strombetriebene Fahrzeuge sind ein Zukunftsmarkt. Mit dem Trolleybus fahren in Luzern bereits solche. Der Trolleybus hat ähnlich einem Tram eine sehr gute Präsenz im Strassenraum.

Als hauptsächlichlicher Nachteil des Trolleybussystems gilt die Fahrleitungsinfrastruktur:

- Die Fahrleitungsinfrastruktur löst hohe Investitionskosten aus. Heruntergebrochen auf die Betriebskosten pro km resultieren unter gleichen Voraussetzungen im Vergleich zum Diesetriebetrieb ca. 10-20% Mehrkosten.

Mit dem Einbezug der externen Effekte in eine volkswirtschaftliche Gesamtbetrachtung (bspw. Reduktion Gesundheitskosten) muss die öffentliche Hand dennoch ein Interesse an der Investition in ein Trolleybusnetz haben.

- Die Fahrleitungen beeinträchtigen das Stadtbild.
- Der Neubau einer Fahrleitungsinfrastruktur stösst bei einigen Betroffenen auf Ablehnung und verursacht durch die drohenden Einsparungen lange Umsetzungsphasen, verbunden mit hohen Prozessrisiken.
- Die Anpassung von bestehenden Trolleybuslinien an verändernde Bedürfnisse ist aufgrund der statischen und teuren Fahrleitungsanlage nur schwer möglich.
- In betrieblichen Sonderfällen oder bei Betriebsstörungen ist die Flexibilität aufgrund der mehrheitlichen Bindung an die Fahrleitung eingeschränkt. Eine fahrleitungsunabhängige Fahrt ist unter Betriebsbedingungen nur selten möglich (Passagiere im Bus, Fahrplanzeiten).

7 Folgerungen

7.1 Einsatzbereiche Trolleybus

Im Lichte der aktuellen Ausgangslage und den feststellbaren Entwicklungen lassen sich für die in Kapitel 0 genannten Anforderungen folgende zweckmässigen Einsatzgebiete für Trolleybusse ableiten:

	Anforderungen	Geeignetes Einsatzgebiet für Trolleybusse
Kapazität	Hohe Kapazität auf den Hauptachsen	<ul style="list-style-type: none"> Hauptachsen mit grosser Nachfrage und dichten Taktintervallen
	Hohe Beförderungsleistung auf Hauptachsen	<ul style="list-style-type: none"> Hauptachsen mit ÖV-Bevorzugung
Betrieb	Beibehalt erprobter bzw. bewährter Systeme; keine Versuche	<ul style="list-style-type: none"> Ganzes Netz
	Effizienter Ressourceneinsatz bzw. gleichmässige Auslastung des Angebots	<ul style="list-style-type: none"> Hauptachsen mit dichten Taktintervallen
	Gute Traktion in allen Situationen	<ul style="list-style-type: none"> Steigungs- / Gefällesstrecken
Umwelt	Der örtlichen Situation angepasste Umweltstandards	<ul style="list-style-type: none"> Hochbelastete Gebiete (Hauptachsen, dichtbebaute innerstädtische Gebiete)
	Geringe Lärm- und Luftschadstoffemissionen	<ul style="list-style-type: none"> Übermässig belastete Gebiete (Hauptachsen, innerstädtische Gebiete) Steigungs- / Gefällesstrecken
	2000-Watt-Kompatibilität	<ul style="list-style-type: none"> Ganzes Netz
Wirtschaftlichkeit	Effizienter Ressourceneinsatz	<ul style="list-style-type: none"> Hauptachsen mit aufzuhebenden Doppelspurigkeiten Hauptachsen mit grosser Nachfrage
	Gute gesamtwirtschaftliche Bilanz	<ul style="list-style-type: none"> Hochbelastete Gebiete (Hauptachsen, innerstädtische Gebiete)
	Stärkung der bestehenden Netzinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Hauptachse(n) nördlich des Bahnhofs (via Seebrücke)

Tabelle 19: Überblick Einsatzgebiete

Zusammengefasst sind Trolleybusse da zweckmässig, wo...

- eine hohe Nachfrage mit einem dichten Taktintervall abgewickelt wird (Hauptachsen und dichtbebaute innerstädtische Gebiete).
- stärkere Steigungs- oder Gefällesstrecken vorhanden sind.
- die Lärm- und Luftbelastungen bereits hoch sind.

Zudem kann der Trolleybus aufgrund seiner besseren Präsenz im Strassenraum die Wahrnehmung des öffentlichen Verkehrs besser gewährleisten. Verbunden mit den Umweltargumenten kann der Trolleybus so zu einem stärkeren ÖV-Imageträger werden als dies Diesel- oder Hyb-

ridbusse können. Gerade auf den Hauptbuslinien entlang der Hauptachsen lassen sich betriebliche Verbesserungen wie Busbevorzugung mit dem besser wahrnehmbaren Trolleybus politisch wohl einfacher kommunizieren. Ein besseres Image und die betrieblichen Verbesserungen stehen dabei in wechselseitiger Abhängigkeit und können sich gegenseitig positiv beeinflussen.

Die Nachteile des Trolleybussystems sollen, wo möglich, laufend eliminiert werden:

- Energiespeicher auf Batteriebasis lösen zunehmend das Hilfsdieselaggregat ab (vgl. neuste Serie lighTram VBZ Zürich). Damit ist kurzzeitig eine fahrleitungslose Fahrt ohne Schadstoffemissionen bei höherer Leistung als bisher erreichbar.
- Mit automatischem Ein- und Ausdrarten (vgl. TPF Fribourg) lassen sich Baustellen und Umleitungen aufgrund Sonderanlässen flexibler und effizienter bewältigen.
- Der hauptsächliche Nachteil des Trolleybusses – die Fahrleitung – kann evtl. sehr langfristig eliminiert werden, weil mit Batterien angetriebene Busse nach und nach höhere Leistungen zu erbringen vermögen und längere Strecken fahrleitungslos zurücklegen können. Dazu ist die Entwicklung dieser vollelektrischen Busse im Auge zu behalten.

7.2 Überlagerung mit bestehendem und künftigem Netz

Nachfolgend werden die oben genannten zweckmässigen Einsatzgebiete dem bestehenden Trolleybusnetz und den vorgesehenen Ausbauten der nächsten 10 Jahre gegenübergestellt.

Die Anforderungen sind hierbei für die einzelnen Abschnitte im künftigen Trolleybusnetz (Bestand und Ausbauten gemäss AggloMobil due) unterschiedlich hoch. In der Tabelle 21 wird dies mit folgenden Symbolen gekennzeichnet:

Höhe (Umfang) der Anforderung	Hoch	Mittel	gering
Symbol	++	+	0

Tabelle 20: Symbole Höhe der Anforderung

Folgende Punkte sind bei der Höhe der Anforderungen zu beachten:

- Im Siedlungsgebiet sind die Umwelanforderungen überall mindestens mittel. Auf Steigungsstrecken (insb. Lärmimmissionen) und auf Hauptachsen (Lärm- und Luftschadstoffimmissionen) sind sie hoch.
- Auf Hauptachsen sind zudem die Kapazitäts- und teilweise auch die betrieblichen Anforderungen hoch, oder je nach Abschnitten in der Netzperipherie mindestens mittel.
- Auf Steigungsstrecken sind zudem die betrieblichen Anforderungen hoch.
- Die wirtschaftlichen Anforderungen sind überall hoch, ausser auf (kürzeren) Abschnitten am Linienende, insbesondere an der Netzperipherie. Solche Abschnitte weisen natürlicherweise eine tiefe Nachfrage und damit eine geringe Kapazitätsanforderung auf. Weil Linien aus naheliegenden Gründen auch mit grossen Gefässen bis zu einem gewissen Punkt Richtung Peripherie des Siedlungsgebietes verkehren, ist auch die Wirtschaftlichkeit dieser Schlussabschnitte gegenüber Innenstadtabschnitten tiefer.

Abschnitte	Linien	Anforderungen				Bemerkungen
		Kapazität	Betrieb	Umwelt	Wirtschaftlichkeit	
Pilatusplatz – Luzernerhof	1, 2, 4, 6, 7, 8	++	++	++	++	▪ Kernstück des Trolleybusnetzes, sehr hohe Kapazität und gleichmässige Auslastung der Kurse erforderlich.
Pilatusplatz – Kriens	1, (3)	++	++	++	+	▪ Sehr hohe Kapazität und gleichmässige Auslastung der Kurse erforderlich.
Kriens – Obernau	1	+	++	++	+	▪ Teilstück an Netzperipherie. ▪ Steigung Hergiswaldstrasse.
Luzernerhof – Maihof	1	++	++	++	++	▪ Hohe Kapazität und gleichm. Kursauslastung erforderlich. ▪ Steigung Zürichstrasse.
Maihof – Ebikon	(1)	++	++	++	++	▪ Hohe Kapazität und gleichmässige Auslastung der Kurse erforderlich.
Pilatusplatz – Seetalplatz	2, (3)	++	++	++	++	▪ Hohe Kapazität und gleichm. Kursauslastung erforderlich. ▪ Eliminierung Doppelspurigkeiten bessere Wirtschaftlichkeit.
Seetalplatz – Sprengi	2	+	++	++	+	▪ Teilstück an Netzperipherie. ▪ Steigung Gerliswilstrasse.
Kantonalbank – Schönbühl	4, 6, 7, 8	++	++	++	++	▪ Hohe Kapazität und gleichm. Kursauslastung erforderlich und durch Überlagerung verschiedener Linien gegeben.
Schönbühl – Matthof	6	0	+	+	0	▪ Kurzes Teilstück an Netzperipherie.
Schönbühl – Hirtenhof	8	0	++	++	0	▪ Kurzes Teilstück an Netzperipherie. ▪ Steigung Hirtenhofstrasse.
Wartegg – Bireggghof	7	+	++	++	+	▪ Teilstück an Netzperipherie. ▪ Steigungen Bodenhofstrasse und Sternmattstrasse.
Bundesplatz – Hubelmatt	4	0	++	++	+	▪ Geringe Kapazitätsanforderungen. ▪ Steigung Breitenlachenstrasse.
Luzernerhof – Brüelstrasse	6, 8	++	++	++	++	▪ Hohe Kapazität und gleichmässige Auslastung der Kurse erforderlich.
Brüelstrasse – Würzenbach	8	0	+	+	0	▪ Kurzes Teilstück an Netzperipherie.
Brüelstrasse – Büttenenhalde	(6)	+	++	++	+	▪ Teilstück an Netzperipherie. ▪ Steigungen Kreuzbuchstrasse und Oberseeburg.
Luzernerhof – Unterlöchli	7	+	++	++	+	▪ Steigung Dreilindenstrasse und Abendweg.

Tabelle 21: Übersicht Anforderungen auf Abschnitten des künftigen Trolleybusnetzes (bestehende Abschnitte blau, Ausbauten ganzer Abschnitt violett, Ausbauten Teilabschnitte blau-violett schraffiert)

Die Tabelle lässt sich in der untenstehenden Grafik zusammenfassen:

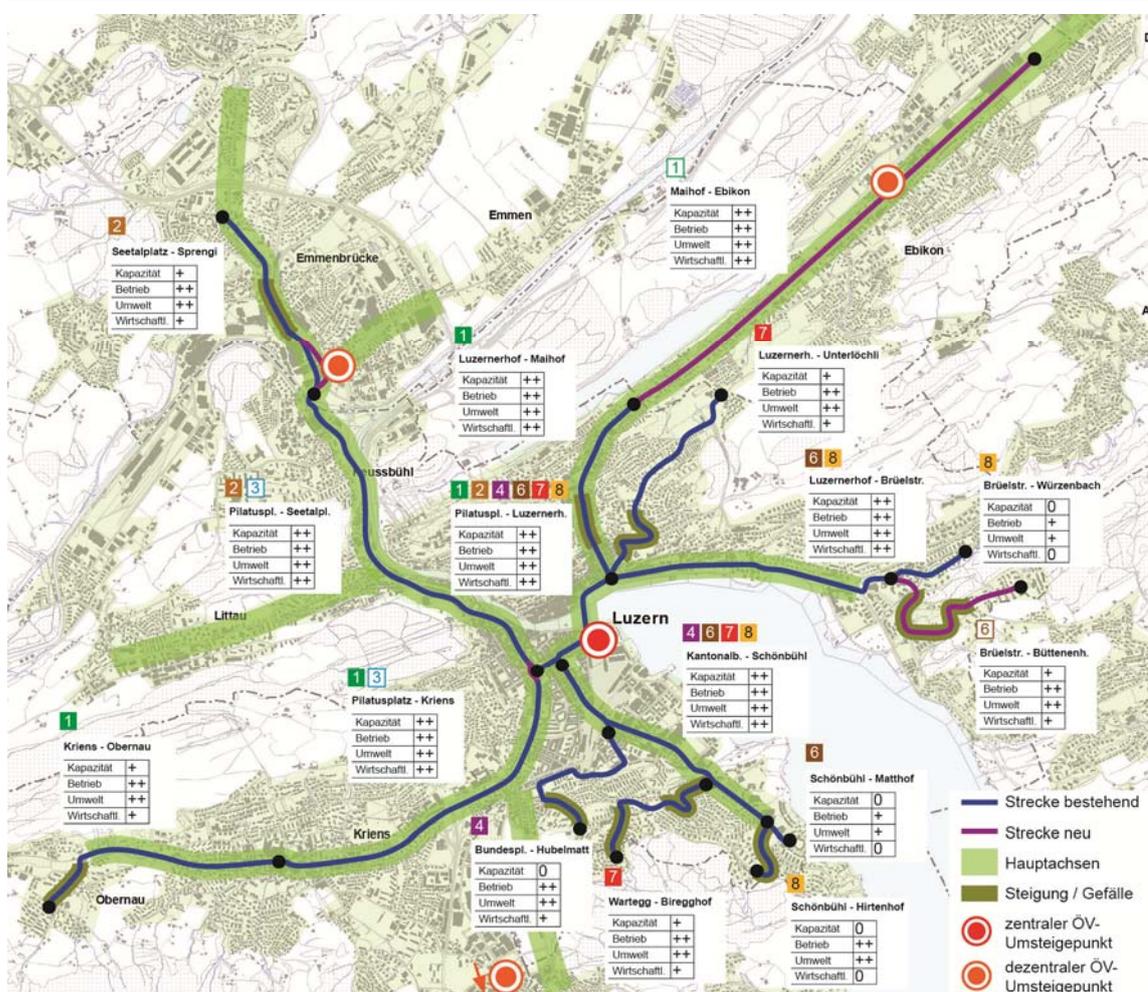


Abbildung 15: Übersicht Anforderungen des bestehenden und auszubauenden Trolleybusnetzes

Bestehendes Trolleybusnetz

Es ist nicht überraschend, dass sich nahezu das gesamte bestehende Netz für den Einsatz von Trolleybussen grundsätzlich eignet. Die Trolleybuslinien befahren mehrheitlich Hauptachsen oder bedienen steigungsreiche und nachfragestarke Quartierlinien.

Einzig die Linie 4 hat eine deutlich geringere Nachfrage im Vergleich zu den übrigen Trolleybuslinien. Geplant ist, die aktuell letzten eingesetzten Standardtrolleybusse durch Gelenktrolleybusse zu ersetzen. Die grösseren Busse fahren dann in einem weniger dichten Takt, so dass dies im Betrieb kostenneutral ist. Der Fahrweg der Linie 4 ist nicht direkt, der Umweg hat gegenüber dem Langsamverkehr und MIV längere Fahrzeiten zur Folge. Im direkten Umfeld der Linie 4 ist jedoch mit dem Entwicklungsstandort Steghof eine Nutzungsentwicklung mit „energiereduziertem Gebäudestandard“ vorgesehen. Dieser Gebäudestandard erfordert u.a. auch einen reduzierten Energiebedarf für die Mobilität, wofür sich bspw. die ÖV-Erschliessung durch eine Trolleybuslinie besser eignet als durch eine Dieselbuslinie.

Kurze Abschnitte an den Linienenden weisen natürlicherweise eine geringe Nachfrage und aufgrund der teilweise grossen eingesetzten Busse eine eher geringe Wirtschaftlichkeit auf. Aufgrund der Liniennetzstruktur sind vorzeitiges Wenden von Trolleybuslinien und die Bedienung der Schlussabschnitte durch kleinere Dieselsebusse jedoch widersinnig. Dies wird auch in anderen Städten mit Tramlinien nicht gemacht.

Vorgesehene Ausbauten Trolleybusnetz

Die vorgesehenen Netzausbauten sind aufgrund der gestellten Anforderungen schlüssig:

- Insbesondere der Ausbau Richtung Ebikon erfüllt sämtliche Anforderungen mit Schweregewicht im Bereich Kapazität.
- Die in Umsetzung befindliche Erweiterung zur Büttenehalde hat neben dem typischen Einsatzgebiet Steigungsstrecke andere Gründe (direkte Anbindung ans Stadtzentrum).
- Die neue Linie zwischen Kriens und Emmenbrücke ist hauptsächlich aus Kapazitätsgründen und als kernnahe Tangentialverbindung vorgesehen. Sie vermindert die auch im 5'-Takt mit Doppelgelenktrolleybussen vorhandenen Kapazitätsprobleme und schafft zudem eine Direktverbindung aus dem Korridor Kriens in den Korridor Emmenbrücke entlang der Hauptachsen.
- Das vollständige Trolleybusnetz inkl. der Ausbauten bedient mit Emmenbrücke und Ebikon auch die neuen dezentralen Subzentren mit ihren ÖV-Umsteigepunkten Bahn / Bus. Einzig der Umsteigepunkt Horw wird nicht durch eine Trolleybuslinie bedient.
- Die Hauptachse Richtung Littau wird im Agglomerationsprogramm 2. Generation als ein späterer Ausbauschritt genannt. Die Hauptachsen Richtung Horw und Emmen Dorf werden zurzeit in keiner Planung als Umstellungskandidaten behandelt.
Die vorliegende Trolleybusstrategie geht um einige Jahre über den Zeithorizont des Agglomerationsprogramms hinaus.

Grundsätzlich sind Ausbauten da zu priorisieren, wo der Nutzen grösser ist. Dies ist bspw. bei der Netzerweiterung Richtung Ebikon eher der Fall als bei einer allfällig der Nachfrage angepassten Linienführung der Linie 4.

Weitere Aspekte

Als Anregung für weitere Angebotskonzepte können folgende Überlegungen dienen:

Es verbleibt auch mit der Verlängerung der Linie 1 bis Ebikon und einer allfälligen Umstellung der Linie 4 ein Ungleichgewicht zwischen dem nordöstlichen und dem südwestlichem Teilnetz, mit sechs (bzw. fünf) Linien von Seite Pilatusplatz und vier Linien von Seite Seebrücke. Es wären zur Stärkung des Trolleybusnetzes als Hauptbusliniennetz eine (bzw. zwei) zusätzliche Trolleybuslinien im nordöstlichen Teilnetz vorzusehen, welche zu Durchmesserlinie verknüpft werden könnten. Mit Blick auf die typischen Einsatzgebiete von Trolleybussen könnte die Linie 19 (hohe Nachfrage, steigungsreich, in lärmempfindlichem Siedlungsgebiet) in Frage kommen. Eine allfällige Neuverknüpfung der bestehenden und neuen Durchmesserlinien wäre zu prüfen.

Entlang der innerstädtischen Hauptachsen verkehren Dieselsebuslinien (Quartier-, Agglomerations- und Regionallinien) teilweise über längere Strecken parallel zu den Trolleybuslinien. Aus zwei Blickwinkeln wäre eine Art Netzhierarchisierung begrüssenswert, wonach (insbesondere die schwächer frequentierten) Dieselsebuslinien nur noch als Zubringer zu den Trolleybuslinien

dienen und ausserhalb der Innenstadt wenden und attraktive Anschlüsse bieten: Einerseits aus Umweltsicht, um die durch Lärm- und Luftschadstoffimmissionen besonders betroffene Innenstadt zu entlasten, andererseits aus betrieblicher Sicht, um die Eigenbehinderungen insbesondere im Zulauf zum Bahnhofplatz abzubauen und ein schnelleres Vorankommen zu ermöglichen. Auch auf die Wirtschaftlichkeit hätte eine Konzentration auf weniger, dafür starke Linien positive Auswirkungen. Die Folgen für die Bereitstellung allfälliger zusätzlicher Kapazität auf den verbleibenden (Trolleybus-) Linien wären zu prüfen.

7.3 Fazit

Das bestehende Netz und die vorgesehenen Ausbauten erfüllen die gestellten Anforderungen in der Agglomeration Luzern meist. Eine Ausstiegskussion aus dem Trolleybussystem rechtfertigt sich derzeit nicht. Die vorgesehenen Ausbauten sind mit Blick auf die gestellten Anforderungen plausibel. Im Vergleich zu den hohen bereits gebundenen finanziellen Mitteln des bestehenden Netzes, sind die in AggloMobil due genannten Ausbauvorhaben klein.

Bei der Linie 4 sollte bei passender Gelegenheit (bspw. Erneuerung Fahrleitungsinfrastruktur) die Traktion überprüft werden, allenfalls in Verbindung mit einem optimierten Angebotskonzept für den Raum Steghof – Hubelmatt (– Biregg).

Es bestehen zwei Kategorien von Trolleybuslinien: Die äusserst nachfragestarken Hauptlinien auf den Hauptachsen, sowie die Quartierlinien mit hoher Nachfrage und topografisch anspruchsvollen Strecken. Beide sind geeignet für den Trolleybusbetrieb. Der Fokus in den Ausbauten des Trolleybusnetzes liegt jedoch eher auf den Hauptachsen. Eine allfällige Elektrifizierung zusätzlicher Quartierlinien hätte insbesondere aufgrund der Anforderungen aus dem Umweltbereich zu erfolgen.

Um das Ungleichgewicht zwischen dem nordöstlichen und dem südwestlichen Teilnetz auszugleichen und Durchmesserlinien zu stärken, bieten sich langfristig insbesondere die Linie 19, zur Elektrifizierung an. Diese Linie beinhaltet in ihrem Linienprofil ganz oder teilweise die typischen Einsatzbereiche von Trolleybussen.

Eine Überprüfung bzw. eine nächste Trolleybusstrategie soll vor der nächsten grossen Angebotsplanung (z.B. AggloMobil tre) oder spätestens in 10 Jahren wieder durchgeführt werden.