

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 1/64

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Grundlagen aus der Forschung Situationsanalyse für Luzern



Autoren

Roger Sonderegger, Hochschule Luzern
Jonas Frölicher, Hochschule Luzern
Widar von Arx, Hochschule Luzern

Begleitgruppe

Roman Steffen, Verkehrsverbund Luzern
Milena Scherer, Verkehrsingenieurin ETH
Beat Nater, Verkehrsbetriebe Luzern
Stephan Brändli, OGS Beratungsteam AG

Management Summary

Braucht die Agglomeration Luzern ein Bus- oder ein Tramsystem? Oder wäre allenfalls sogar der Bau einer U-Bahn zu studieren? Ausgehend von einer Analyse der bestehenden Tram- und Bussysteme sowie den Voraussetzungen der Agglomeration Luzern wird in diesem Bericht der Frage nachgegangen, welches (öffentliche) Verkehrssystem am besten geeignet wäre. Dazu werden die notwendigen Kapazitäten sowie die resultierenden Kosten und Nutzen einander gegenüber gestellt. Als Resultat wird eine Empfehlung für die Wahl des am besten geeigneten Systems abgegeben.

Fast alle Grossstädte der Welt kämpfen heute mit Verkehrsproblemen. Zahlreiche Städte in Süd- und Nordamerika sowie in Asien haben in den vergangenen 40 Jahren unter dem Namen BRT (Bus Rapid Transit) hochwertige Bussysteme eingeführt, die teilweise sehr hohe Kapazitäten (bis 800'000 Fahrgäste täglich) und hohe Geschwindigkeiten erreichen. BRT-Systeme haben meist eine eigenständige, gegenüber den übrigen Bussen als höherwertig positionierte Marke und zeichnen sich durch hohe Anteile an Eigentrasse aus. In den dichten Städten Europas sind solche baulichen Eingriffe allerdings kaum möglich. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird hier eher von BHLS (Busses with a high level of service) gesprochen. Statt physischer Eigentrasse wird vermehrt mit Lichtsignalsteuerungen und anderen betrieblichen Massnahmen gearbeitet. Weltweit haben heute rund 120 Städte ein hochwertiges Bussystem, mit stark steigender Tendenz.

In der Schweiz gibt es hingegen bis heute keine Bussysteme, die die einem BHLS entsprechenden Merkmale aufweisen. Das Verständnis einer hochwertigen Nahverkehrserschliessung wird hierzulande vor allem mit Trambahnen in Verbindung gebracht, die ausserdem in den vergangenen zehn Jahren eine grosse Renaissance erlebt haben. Die vier grossen Schweizer Agglomerationen haben mit Hilfe des nationalen Infrastrukturfonds ihre Tramnetze ausgebaut. Diese Renaissance des Trams lässt sich ausserdem auch im übrigen Europa beachten, wo von Paris bis Barcelona zahlreiche neue Systeme entstanden sind.

Die Agglomeration Luzern verfügte früher über ein eigenes Tramnetz. Dieses wurde jedoch 1961 durch Autobusse abgelöst. Seither gab es mehrere erfolglose Versuche, das Tram wieder einzuführen. Angesichts der stark steigenden Nachfrage, der knapper werdenden Kapazitäten (insbesondere auf der Linie 1 mit jährlich gegen 10 Mio. Fahrgästen) und der Behinderungen des aktuellen Bussystems durch den motorisierten Individualverkehr stellt sich die Frage, mit welchem Verkehrssystem dieser Raum in Zukunft erschlossen werden soll. Die Agglomeration Luzern hat heute über 200'000 Einwohner und eine hohe Siedlungsdichte. Die Feinerschliessung mit dem öffentlichen Verkehr erfolgt ausschliesslich mit dem Bus, auf der mehrheitlich mit Anhänger-Zügen gefahrenen Linie 1 sind heute 3 Doppelgelenktrolleybusse im Einsatz.

Neben der Kapazität sind die Kosten, die Geschwindigkeit und die Zuverlässigkeit die wichtigsten Kriterien bei der Wahl eines Verkehrssystems. Die Hochschule Luzern untersuchte anhand dieser Kriterien, welches Verkehrssystem für die Feinerschliessung der Agglomeration Luzern in Zukunft am besten geeignet ist. Die Analysen beschränkten sich dabei auf die vier Linien 1, 2, 6/8 und 12, weil diese die höchsten Nachfragewerte aufweisen und auf den Hauptverkehrsachsen unterwegs sind. Sie kommen somit für den Wechsel des Verkehrssystems am ehesten in Frage.

Die Untersuchungen zeigen, dass eine U-Bahn oder eine Stadtbahn aufgrund der zu hohen Infrastrukturkosten und der zu hohen Kapazitäten für die Agglomeration Luzern generell nicht in Frage kommen. Für die Linie 1 würde schon heute ein Gelenkbus zu geringe Kapazitäten bieten, weshalb dieses Fahrzeug ebenfalls aus den weiteren Analysen ausgeschlossen wurde. Zu untersuchen blie-

ben somit ein System mit Doppelgelenktrolleybussen (DGT), ein BHLS oder ein Tramsystem. Tatsächlich kann ein Bussystem mit DGT oder BHLS das prognostizierte Wachstum von rund 40% bis 2030 gut tragen. Bei einem grösseren Wachstum (mehr als 60%) wird langfristig gesehen allerdings doch ein Tram zu diskutieren sein.

Bei der Kostenanalyse sind die Resultate eindeutig. Das Tramsystem löst aufgrund der notwendigen sehr teuren Infrastruktur sehr hohe anfängliche Investitionskosten aus. In der Agglomeration Luzern würde dies für die Umstellung der vier genannten Linien gegen CHF 900 Mio. bedeuten. Entsprechend hoch liegen die gesamten jährlich anfallenden Kosten (Gesamtannuitäten). Für das Tram bei rund CHF 79,4 Mio., beim BHLS bei rund 30,2 Mio. und bei einem Doppelgelenktrolleybus bei rund CHF 27,4 Mio.

Ein Tramsystem weist allerdings nicht nur die höchsten Kosten, sondern auch den höchsten Nutzen auf. Insbesondere ermöglichen Tramsysteme die höchsten Werte bei Geschwindigkeit (gemeinsam mit BHLS) und Zuverlässigkeit aufgrund der Eigentrassierung. Auch sind die Potentiale für städtebauliche Aufwertung und die Attraktion neuer Fahrgäste und damit höherer Einnahmen beim Tram am höchsten. Aus einem Vergleich der Nutzen und der Kosten der drei untersuchten Verkehrssysteme folgt die Kostenwirksamkeit. Sie gibt Auskunft darüber, wie hoch der resultierte Nutzen eines investierten Frankens ist. Hier schneidet das BHLS am besten ab. Diese Resultate zeigen, dass ein hochwertiges Bussystem die tiefen Kosten des Busses mit den hohen Qualitäten des Trams bezüglich Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit verbinden kann.

Aufgrund der ausgeführten Untersuchungen und den getroffenen Annahmen kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Einführung eines hochwertigen Bussystems auf den nachfragestärksten Linien der Agglomeration Luzern kurz- bis mittelfristig die beste Option ist. Langfristig kommt bei starkem Nachfragewachstum für die bestfrequentierten Linien allerdings auch ein Tram in Frage. Bei einem RBus¹-System sind die Linien 6 und 8 gemeinsam zu planen. Neben der Einführung neuer Fahrzeuge sind spürbare Verbesserungen bei der Infrastruktur zwingend notwendig, um die Vorteile eines hochwertigen Bussystems auszunutzen. Ansonsten besteht die Gefahr für fehlende Akzeptanz und stagnierende oder gar sinkende Fahrgastzahlen. Ausserdem wird empfohlen, wo immer möglich die Einführung des neuen Verkehrssystems zur Aufwertung des öffentlichen Raums zu nutzen – auch im Sinne der Agglomerationspolitik des Bundes. Schliesslich sollte auf den Linien des geplanten RBus-Systems unbedingt die Entwicklung der Qualität langfristig evaluiert werden.

¹ Bezeichnung des neuen Luzerner Bussystems, das die Vorteile eines BHLS (light) zunächst auf einer Linie, später auf mehreren Linien bringen soll (siehe auch Glossar).

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	9
1.1. Problemstellung und Auftrag	10
1.2. Schnellbusssysteme in der Schweiz	10
1.3. Tramsysteme in der Schweiz.....	11
1.4. Gliederung des vorliegenden Berichtes	11
2. Bus- und Tramsysteme in Europa und Übersee	12
2.1. Bus Rapid Transit (BRT)	12
2.2. Busses with a high level of service (BHLS)	14
2.3. Busses with a high level of service <i>light</i> (BHLS light).....	14
2.4. Trambahnsysteme	15
2.5. Fazit	16
3. Evaluation des passenden Verkehrssystems (Methodisches Vorgehen).....	17
3.1. Schritt 1: Auswahl der potenziellen Verkehrssysteme ausgehend vom Einsatzgebiet.....	19
3.2. Schritt 2: Detaillierte Analyse der Kapazitäten auf den Linien des Kernnetzes	20
3.3. Schritt 3: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme	21
3.4. Schritt 4: Vergleich der Nutzen auf den Linien des Kernnetzes.....	24
3.5. Schritt 5: Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten (Kosten-Wirksamkeits-Analyse).....	28
4. Evaluation des passenden Verkehrssystem für die Agglomeration Luzern.....	29
4.1. Ausgangslage und Zielsetzung	29
4.2. Rahmenbedingungen und Grundlagen für die Analysen.....	30
4.3. Schritt 1: Auswahl der potenziellen Verkehrssysteme ausgehend vom Einsatzgebiet.....	31
4.4. Schritt 2: Detaillierte Analyse der Kapazitäten auf den Linien des Kernnetzes	31
4.5. Schritt 3: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme	37
4.6. Schritt 4: Vergleich der Nutzen auf den Linien des Kernnetzes.....	43
4.7. Schritt 5: Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten (Kosten-Wirksamkeits-Analyse).....	46
4.8. Fazit und Interpretation der Resultate	47
5. Empfehlungen für die Implementierung in der Agglomeration Luzern	50
5.1. Organisation.....	50
5.2. Technik	50
5.3. Kommunikation	51
5.4. Weitere Untersuchungen	52
6. Potential für BHLS in weiteren Schweizer Städten.....	53
6.1. Lausanne	54
6.2. St. Gallen	55
6.3. Winterthur.....	55
6.4. Lugano	55
6.5. Zug.....	56
6.6. Fribourg	56
6.7. Biel	57
6.8. Fazit	58
Literaturverzeichnis.....	59
Anhang.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel RBus.....	9
Abbildung 2: Wachstum BRT- und BHLS-Systeme weltweit.....	12
Abbildung 3: BRT Istanbul mit hohem Anteil Eigentrassierung.....	13
Abbildung 4: Gelenkbus des BHLS-Systems in Lyon	15
Abbildung 5: Analyseschritte Evaluation passendes Verkehrssystem.....	18
Abbildung 6: Städtebauliche Aufwertung bei der Einführung von Bussystemen in Europa.....	26
Abbildung 7: Kernnetz der Agglomeration Luzern (Linien 1, 2, 8 und 12).	29
Abbildung 8: Kapazitätsanalyse Linie 1 in der HVZ.	33
Abbildung 9: Kapazitätsanalyse Linie 2 in der HVZ.	34
Abbildung 10: Kapazitätsanalyse Linie 6/8 in der HVZ.	35
Abbildung 11: Kapazitätsanalyse Linie 12 in der HVZ.	36
Abbildung 12: Gewichtete Ränge der Verkehrssysteme pro Nutzendimension.....	45
Abbildung 13: Kosten-Wirksamkeitsanalyse bezogen auf die Gesamtannuitäten.	47
Abbildung 14: Kosten-Wirksamkeitsanalyse bezogen auf die Betriebskosten.	48
Abbildung 15: Einsatzbereiche von primären ÖV-Systemen in Abhängigkeit der Siedlungsdichte	53
Abbildung 16: Liniennetz Stadt Lausanne	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Regionale Verbreitung von BRT-Systemen und Buskorridoren.....	13
Tabelle 2: Kriterien für die Verkehrssystemwahl	17
Tabelle 3: Anforderungen unterschiedlicher Akteure an Verkehrssysteme.....	18
Tabelle 4: Agglomerationskategorien für Schweizer Verhältnisse.....	19
Tabelle 5: Sinnvoll einsetzbare Verkehrsmittel je Agglomerationskategorie.....	19
Tabelle 6: Fahrzeugkapazitäten.	20
Tabelle 7: Anzahl Fahrplanstunden pro Wochentag.	24
Tabelle 8: Linienportraits gemäss Status Quo.	31
Tabelle 9: Bemessungsnachfrage nach Wachstumsszenario in Passagieren pro Fahrplanstunde.....	32
Tabelle 10: Empfohlene Takte gemäss Kapazitätsanalyse bei einem Wachstum von 40%.	37
Tabelle 11: Getroffene Annahmen je Verkehrssystem.....	37
Tabelle 12: Gesamtannuitäten (in CHF) für Gelenkbus auf dem Kernnetz.	38
Tabelle 13: Gesamtannuitäten (in CHF) für Doppelgelenktrolleybus auf dem Kernnetz.	38
Tabelle 14: Gesamtannuitäten (in CHF) für BHLS auf dem Kernnetz.	39
Tabelle 15: Gesamtannuitäten pro Jahr (in CHF) für Tram 42m auf dem Kernnetz.	39
Tabelle 16: Vergleich der Kosten je Verkehrssystem bei 40% Wachstum.....	40
Tabelle 17: Kostensituation Trambetrieb nur auf Linie 1 (bei 40% Wachstum).	41
Tabelle 18: Einnahmen auf dem Kernnetz mit Wachstum 20% bis 60%.....	41
Tabelle 19: Abgeltungsbedarf für das Kernnetz mit Wachstum 20%-60% (Vollkosten).....	42
Tabelle 20: Abgeltungsbedarf für das Kernnetz mit Wachstum 20%-60% (Betriebskosten).....	42
Tabelle 21: Rangfolge der Verkehrssysteme pro Nutzenkriterium (Ränge 1 bis 3).....	43
Tabelle 22: Gewichtung der Nutzenkriterien (Gewichtung von 1 bis 3).	44
Tabelle 23: Gewichtete Rangsumme (tiefe Rangsumme = bestes Resultat).....	45
Tabelle 24: Kosten-Wirksamkeitsanalyse der drei Verkehrssysteme.	46
Tabelle 25: Vergleich Schweizer Agglomerationen.....	58

Glossar

Anhängerzug	Als Anhängerzug wird eine Komposition bestehend aus Standardtrolleybus (ohne Gelenk) und einem Anhänger bezeichnet.
Aufschaukelung	Bei dicht hintereinander verkehrenden Bussen besteht die Gefahr, dass die Taktfolge nicht stabil gehalten werden kann. Der Grund dafür besteht in der unregelmässigen Auslastung der Fahrzeuge: ein stark benutzter Bus wird langsamer, was zu noch mehr Fahrgästen führt (Wartezeit an der Haltestelle), ein darauf folgender Bus hingegen erhält immer weniger Fahrgäste.
Bemessungsnachfrage	Die Bemessungsnachfrage berechnet sich durch einen Zuschlag von 37,5% auf die Durchschnittsnachfrage. In Bezug auf 250 Werktage im Jahr liegen 17 Tage über der Bemessungsnachfrage und 233 sind kleiner oder gleich gross. Die Bemessungsnachfrage ist also kein absoluter Spitzenwert, sondern ein "gemässiger" Spitzenwert für die Planung.
BHLS	„Bus with a high level of service“: aufgrund der engen Platzverhältnisse in europäischen Städten fehlt oft der Platz für durchlaufende bauliche Eigentrasseierungen. Mit BHLS wird deshalb ein System bezeichnet, das nur auf Teilstrecken manchmal physisch und oft auch betrieblich gegenüber dem MIV bevorzugt wird.
BHLS light	Sind einige wichtige Komponenten eines BHLS (z.B. starke Markenidentität) nicht erfüllt, so spricht man in der Regel von einem BHLS light.
BRT	Bus Rapid Transit ist ein flexibles, pneubasiertes System für den schnellen städtischen öffentlichen Verkehr, das Haltestellen, Fahrzeuge, Dienstleistungen, Busspuren und Informationstechnologien in einem integrierten System mit einer starken Identität beinhaltet. BRT sind Verkehrssysteme mit oder (häufiger) ohne Spurführung und insbesondere in Asien, Süd- und Nordamerika verbreitet.
BRT light	Sind einige wichtige Komponenten eines BRT (z.B. starke Markenidentität) nicht erfüllt, so spricht man in der Regel von einem BRT light.
Busbevorzugung	Eine Bevorzugung eines Busses wird in der Regel durch betriebliche Massnahmen (Lichtsignalanlagen, Fahrbahnhaltestellen) sichergestellt.
DGT	„Doppelgelenktrolleybus“; bezieht sich nur auf das Fahrzeug und weist damit auf das Fehlen spezieller Infrastrukturen oder spezieller Bevorzugung hin.
Eigentrasseierung	Unter Eigentrasseierung wird ein Strassenabschnitt verstanden, der ausschliesslich vom Öffentlichen Verkehr genutzt wird. Dies wird in der Regel durch bauliche Massnahmen erreicht (Busspur, Trampspur).
Gesamtannuität	Die Gesamtannuität gibt alle relevanten Kosten eines Verkehrssystems für ein Jahr an. Sie setzt sich zusammen aus den jährlichen Betriebskosten, den Unterhaltskosten und den Abschreibungen der Investitionskosten.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 8/64

HVZ	Hauptverkehrszeit: Fahrplanstunden mit dichtestem Takt
Kernnetz	Netz bestehend aus denjenigen Linien, die aufgrund der heutigen Kapazitäten für eine Umstellung auf BHLS oder Tram in Frage kommen. Für Luzern sind dies die Linien 1, 2, 6/8 und 12. Die Linien 6 und 8 werden zu diesem Zweck zur Linie“6/8“ zusammengefasst.
Korridor	Mit einem Korridor wird eine Teilstrecke eines Verkehrssystems bezeichnet. Weil in einem Korridor mehrere Linien des öffentlichen Verkehrs liegen können, wäre er die relevante Analyseeinheit für Kapazitätsberechnungen. ²
NVZ	Nebenverkehrszeit: Fahrplanstunden mit mittlerem Takt
Radiallinie	Eine Radiallinie verbindet Vororte mit dem Orts- oder Stadtzentrum.
RBus	Bezeichnung des neuen Luzerner Bussystems, das die Vorteile eines BHLS (light) zunächst auf einer Linie, später auf mehreren Linien bringen soll.
RVZ	Randverkehrszeit: Fahrplanstunden mit tiefer Bedienungsfrequenz
Stadtbahn	Schienenbasiertes, spurgeführtes, elektrifiziertes System. Eine Stadtbahn entspricht im Wesentlichen einem Tram im suburbanen Raum (s. Glatttal bzw. Limmattal). Nicht zu verwechseln mit Stadtbahn Zug (S-Bahn-System).
SN/EN 13816	Die SN/EN 13816 ist die Europäische Norm für den Nachweis der Servicequalität von Verkehrsunternehmen im öffentlichen Personenverkehr.
Tram	Schienenbasiertes, spurgeführtes, elektrifiziertes System. Ein Tram kann auf einem eigenen Trassee oder im Mischverkehr mit dem motorisierten Individualverkehr geführt werden.
vbl	Verkehrsbetriebe Luzern, Transportunternehmen
VVL	Verkehrsverbund Luzern, Bestellerorganisation

² Im vorliegenden Bericht werden allerdings aufgrund der Auftragsgrösse und –tiefe die Kapazitätsanalysen nur für einzelne Linien durchgeführt.

1. Einleitung

Die Leistungen des öffentlichen Verkehrs für die Agglomeration Luzern werden durch den Verkehrsverbund Luzern (VVL) geplant und bestellt. Mit dem ÖV-Bericht 2014-2017 legt der VVL zum zweiten Mal eine Strategie für die Entwicklung des öffentlichen Verkehrs auf. Diese basiert auf den Aussagen des kantonalen Richtplans, des Strassenbauprogramms und des Agglomerationsprogramms 2. Generation. Letztgenanntes Programm basiert auf dem ÖV-Konzept AggloMobil due, welches schrittweise seit 2014 umgesetzt wird.

Ein wesentliches Element der ÖV-Strategie besteht in der Einführung eines hochwertigen Bussystems auf der bestehenden Linie 1 von Kriens Obernau nach Ebikon (aktuell bis Maihof) unter Berücksichtigung von Angebot, Rollmaterial und Infrastruktur. Diese trägt den Namen „RBus“³ und wird in die Nähe eines BHLS³ gerückt (www.VVL.ch/RBus). Neben einer Steigerung der Fahrgastkapazität soll mit dem System RBus die Fahrzeit von einer Endstation zur anderen im Schnitt um 10 Prozent abnehmen. Der VVL strebt zudem eine Erhöhung der Zuverlässigkeit des Fahrplanes auch in Hauptverkehrszeiten an. In Sachen Komfort, Image und Bevorzugung soll die Buslinie den Standard eines Tramsystems erreichen. Die Linie 1 ist mit jährlich fast 10 Millionen Fahrgästen die nachfragestärkste Linie der gesamten Zentralschweiz.

Mit der Beschaffung von neuen Doppelgelenktrolleybussen durch die vbl (Verkehrsbetriebe Luzern) mit tramähnlichen Fronten, Radabdeckungen und Designelementen wird ein erstes Zeichen beim Rollmaterial für die höherwertige Positionierung gesetzt. Infrastrukturmassnahmen sollen in Zukunft kontinuierlich folgen. Der Entwurf des Strassenbauprogramms 2015-2018 des Kantons Luzern enthält dazu wichtige Vorentscheide. Zudem ist in den Investitionskrediten für den öffentlichen Verkehr auch ein Ausbau dieser Linie bis 2018 Richtung Ebikon enthalten. Auch beim Angebot gibt es Änderungen im Zusammenhang mit der neuen Linie 3, welche 2016 neu eingeführt wird. Das RBus-System kann ab dann im betrieblich optimalen 7.5'-Takt verkehren. Die Zuverlässigkeit wird sich erhöhen, da die Busse weniger dicht und daher regelmässiger fahren. Erwartet wird zudem mittel- bis langfristig die Umstellung von Gelenkbussen auf Doppelgelenktrolleybusse auch bei den Linien 2, 8 und 12. Das RBus-Angebot bildet dann ein optimales Nahverkehrsnetz, bestens verknüpft mit S-Bahn und Regionalbussen.



Abbildung 1: Beispiel RBus.

Quelle: mathys Visualisierungen

³ Bus with a high level of service; Begriff wird im Glossar und in Kapitel 2 erklärt.

1.1. Problemstellung und Auftrag

Im Zusammenhang mit einer gewünschten, höherwertigen Positionierung und dem erwarteten Nachfragewachstum stellen sich für die Netzentwicklung in der Agglomeration Luzern einige weitere Fragen, die von zentraler Bedeutung für die Zukunft des öffentlichen Verkehrs sind. Auf einigen bestehenden Linien stösst das heutige Verkehrssystem mit Gelenkbussen und Anhängerzügen an seine Grenzen. Für den vorliegenden Bericht stellen sich damit die folgenden Fragen:

- Auf welchen Linien des öffentlichen Verkehrs in der Agglomeration Luzern kommt ein neues Verkehrssystem grundsätzlich in Frage?
- Welches Verkehrssystem ist auf diesen Linien kurz-, mittel- und langfristig die richtige Wahl?

Die hier angesprochenen Fragen zielen darauf ab, ein für die Agglomeration Luzern geeignetes Verkehrssystem für stark belastete ÖV-Korridore aus mehreren Varianten auszuwählen. Die Fragen der Systemwahl stellen sich in der Regel dann, wenn ein Bussystem an seine Kapazitätsgrenze stösst – was auf der Linie 1 bereits heute der Fall ist. Weshalb sollen aber noch andere Linien mit einbezogen werden? Dies liegt daran, dass eine Systemwahl nicht anhand einer einzelnen Linie besprochen und entschieden werden kann, weil bei einem Wechsel des bestehenden Systems eventuell grosse Kosten entstehen können. Dies ist beispielsweise beim Bau eines Tramdepots oder beim Aufbau der notwendigen Kompetenzen für den Betrieb und den Unterhalt eines Trams der Fall. Es braucht deshalb eine Betrachtung über mehrere Linien hinweg. In der Agglomeration Luzern sind dies aufgrund der höchsten Frequenzen die Linien 1, 2, 6/8 und 12 (siehe Kapitel 4). Ausserdem sind dies die vier Linien, die auf den Hauptverkehrsachsen verlaufen.

Der Verkehrsverbund Luzern hat aufgrund der beschriebenen Problemstellung die Hochschule Luzern damit beauftragt, die offenen Fragen zur Wahl des richtigen Verkehrssystems zu untersuchen. Zum Auftrag gehören drei Elemente. Erstens sollen der aktuelle Stand und die Erfahrungen mit Schnellbussystemen in Europa und weltweit aufgrund bestehender Untersuchungen dokumentiert werden. Zweitens soll anhand eines etablierten Verfahrens die Systemfrage für die Agglomeration Luzern anhand der definierten vier Linien 1, 2, 6/8 und 12 analysiert werden. Drittens sollen weitere Schweizer Städte identifiziert werden, in denen die Einführung eines Schnellbussystems (BHLS) in Frage käme.

1.2. Schnellbussysteme in der Schweiz

In verschiedenen Schweizer Agglomerationen existieren heute Schnellbussysteme, die einen Teil des Kurses auf der Autobahn oder einer Umfahrungsstrasse zurücklegen. Diese sind jedoch explizit nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes. In einigen Agglomerationen gibt es ausserdem hochfrequentierte Buslinien, die einige Merkmale von BHLS aufweisen (z.B. Linie 31 in Zürich). Ein eigentliches BHLS- bzw. BRT⁴-System existiert in der Schweiz bisher jedoch nicht. In anderen Ländern hingegen werden die Bezeichnungen BRT und BHLS jedoch bedeutend grosszügiger verwendet (Sorg, 2012, S. 5), so dass einzelne Schweizer Linien nach ausländischen Massstäben als BHLS bezeichnet würden.

⁴ Bus Rapid Transit

1.3. Tramsysteme in der Schweiz

In der Schweiz verfügen die fünf grössten Agglomerationen Zürich, Basel, Genf, Bern und Lausanne über Tramsysteme, die zumindest teilweise unabhängig vom Strassenverkehr verlaufen (Weidmann et al., 2011, S. 36). In allen diesen Städten bestehen, mit Ausnahme von Lausanne mit nur einer Linie, mehrere Tramlinien. Neue Tramsysteme befinden sich 2014 in verschiedenen Städten in Planung. In Lugano wird ein ganzes Tramnetz neu geplant, von dem einige Teile auf den Trassen einer bestehenden Schmalspurbahn liegen. Die prioritären Linien in Lugano sind Bioggio-Lugano und Molinazzo-Manno. Im Limmattal wird die Limmattalbahn ihren Betrieb voraussichtlich Ende 2019 aufnehmen.

1.4. Gliederung des vorliegenden Berichtes

Der vorliegende Bericht zeigt zunächst die weltweite Bedeutung von Bus- und Tramsystemen auf (Kapitel 2). Anschliessend wird aufgezeigt, anhand welcher Kriterien und welcher Methode die Wahl eines Verkehrssystems gefällt wird, welche Faktoren bei der Einführung berücksichtigt werden müssen und welche Wirkungen die Wahl eines bestimmten Verkehrssystems hat bzw. haben kann (Kapitel 3). Kapitel 4 schliesslich prüft, welches Verkehrssystem für die *Agglomeration Luzern* in Zukunft am besten geeignet ist. Die konkrete Antwort für eine Systemwahl wird für Luzern hier gegeben, und die Empfehlungen für die Agglomeration Luzern folgend in Kapitel 5. Die Frage, ob in weiteren Schweizer Städten ein Schnellbussystem denkbar wäre, wird abschliessend in Kapitel 6 untersucht.

2. Bus- und Tramsysteme in Europa und Übersee

Busse sind ein sehr wichtiges Transportmittel im städtischen Verkehr. In grösseren europäischen Städten werden rund 50% der Kilometer im öffentlichen Verkehr von Bussen gefahren, in kleineren bis zu 100%. Weltweit betrachtet werden in den Städten rund 80% aller Kilometer des öffentlichen Verkehrs mit Bussen bewältigt. Aus Bussen mit einem hohen Anteil Eigentrasse entstanden ab den 1970er-Jahren die ersten BRT- bzw. BHLS-Systeme (vgl. Kapitel 2.1 bis 2.3). Auch diese haben heute eine beachtliche Verbreitung erreicht. Ende 2011 verfügten weltweit rund 120 Städte auf sechs Kontinenten über ein BRT- bzw. ein BHLS-System, in weiteren 49 Städten befand sich eines im Bau (Sorg, 2012, S. 4). Insgesamt sind weltweit rund 30'000 Busse im Einsatz. Sie bringen täglich rund 28 Mio. Fahrgäste an ihr Ziel (Hidalgo und Gutierrez, 2011, S. 8ff).

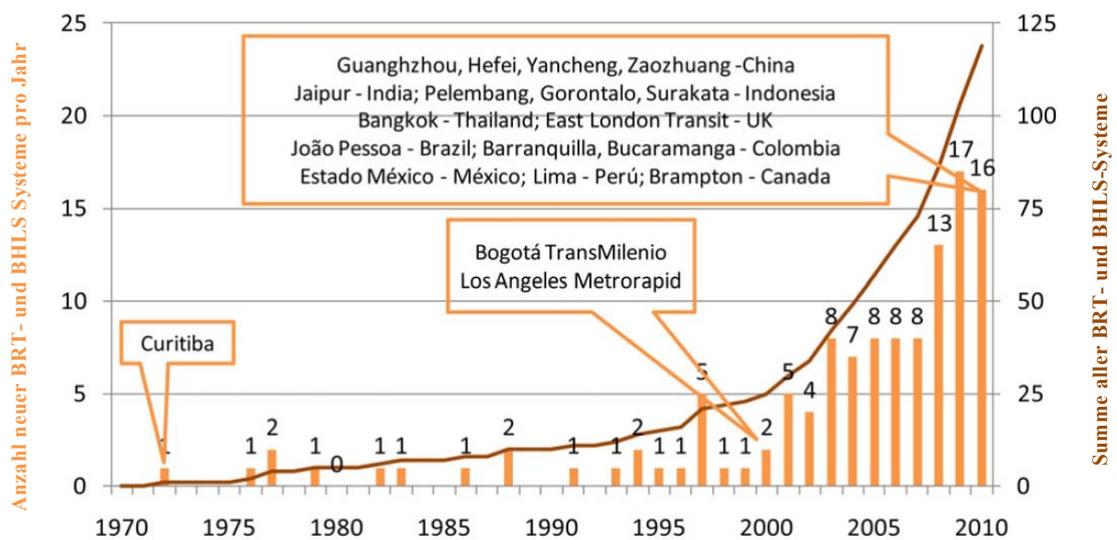


Abbildung 2: Wachstum BRT- und BHLS-Systeme weltweit.

Quelle: Hidalgo und Gutierrez, 2011, S. 9

Die linke Skala auf der Abbildung 2 gibt an, wie viele neue BRT- und BHLS-Systeme innerhalb eines Jahres den Betrieb aufgenommen haben; die rechte Skala zeigt die Summe an.

2.1. Bus Rapid Transit (BRT)

Bus Rapid Transit ist ein flexibles, pneugeführtes System für den schnellen städtischen ÖV, das Haltestellen, Fahrzeuge, Dienstleistungen, Busspuren und Informationstechnologien in einem integrierten System mit einer starken Identität beinhaltet (Levinson, Zimmerman, Clinger, Gast et al., 2003). Das erste BRT-System wurde 1972 in der Brasilianischen Stadt Curitiba implementiert. Erstmals aufgetaucht ist der Begriff aber bereits 1966 in einer nordamerikanischen Studie. Neben Curitiba sind heute die Systeme von Goiânia (Brasilien), Bogotá (Kolumbien) und in Europa Istanbul (Türkei, vgl. Abbildung 3) besonders bekannt. BRT-Systeme mit einem hohen Anteil an Eigentrasse sind sehr leistungsfähig. Der nachfragestärkste Korridor weltweit befindet sich in der südchinesischen Metropole Guangzhou. Auf diesem Korridor transportieren die rund 800 Busse täglich 800'000 Fahrgäste (Hidalgo & Gutierrez, 2011).

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 13/64

Neben der hohen Kapazität zeichnen sich BRT-Systeme aus durch moderne Fahrzeuge, darauf abgestimmte Haltepunkte, exklusive Fahrwege, Fahrzeugbevorzugungsmassnahmen, Leitsysteme, zeitgemässe Betriebskonzepte, rasche Taktfolgen, moderne Bezahlungsmethoden, integrierte Tarifsysteme, hochstehende Fahrgastinformationen und gut sichtbare Wiedererkennungsmerkmale (Sorg, 2012, S. 5). Im Wesentlichen unterscheiden sich damit BRT-Systeme von konventionellen Bussystemen durch eine höhere Kapazität und eine höhere Beförderungsqualität (u.a. aufgrund Eigentrassierung), sowie in der Regel durch eine bessere Wirtschaftlichkeit und eine positivere öffentliche Wahrnehmung (Sorg, 2012, S. 6).

Tabelle 1: Regionale Verbreitung von BRT-Systemen und Buskorridoren.

	Städte	Korridore	Km	Haltestellen	Busse	Passagiere/Tag
Afrika	3	3	62	93	463	390'000
Asien	33	85	1'306	1'658	6'590	6'289'531
Europa	25	32	291	609	781	629'369
Europa/Asien	1	2	43	33	300	700'000
Lateinamerika/Karibik	33	91	1'345	2'717	19'239	17'691'945
Ozeanien	5	12	324	142	1'411	345'800
USA und Kanada	20	57	993	1'485	1'993	1'013'901
Total	120	282	4'364	6'737	30'777	27'060'546

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hidalgo & Gutierrez, 2011, S. 9



Abbildung 3: BRT Istanbul mit hohem Anteil Eigentrassierung.

Quelle: wikicommons

2.2. Busses with a high level of service (BHLS)

Busses with a high level of Service (BHLS) sind busbasierte öffentliche Verkehrssysteme. Sie bieten ihren Fahrgästen eine hohe Leistungsfähigkeit und einen guten Komfort – von der Haltestelle über das Fahrzeug bis zum Fahrkomfort unterwegs. *High Level of Service* bezieht sich dabei entweder auf die (eindeutig messbare) Quantität des Angebots, d.h. auf Frequenz, Kapazität, Pünktlichkeit und Reisezeit – und damit direkt auf die geplante Qualität des Angebotes – oder auf die durch den Kunden wahrgenommene Qualität nach SN/EN 13816. Eine Qualifikation als BHLS setzt voraus, dass eine spürbare Verbesserung dieser Qualitätskriterien vorliegt.

Wichtigste Voraussetzung für die Erfüllung dieser Kriterien ist die Umsetzung einer weitgehenden Vortrittsregelung für den Bus – sei es physisch oder elektronisch (Finn et al., 2011, S. 19). „Sie ist die einzige Variante, bei allen diesen Charakteristiken einen Vorteil zu erzielen“ (ebenda, Übersetzung durch die Autoren). Ausser in einigen wenigen Ausnahmen sollte die Vortrittsregelung ebenerdig erreicht werden, um die Infrastrukturkosten im Rahmen halten zu können. Unterirdische Lösungen oder Hochbauten kosten im Minimum das Dreifache.

Weil BRT-Systeme immer einen hohen Anteil an Eigentrasseierungen aufweisen, können sie vor allem in jüngeren Städten umgesetzt werden. In den alten und meist dichten Siedlungsstrukturen der europäischen Städte ist die Umsetzung von längeren Eigentrasseierungen oft unmöglich. Die Bezeichnung „Bus with a high level of service“ wurde in den 1990er-Jahren von europäischen Forschern eingeführt und berücksichtigt diese Besonderheit, indem sie sich eher auf eine besonders hohe Dienstleistungsqualität als auf neue Infrastrukturen bezieht. Entsprechend halten Finn et al. (2011) fest: „We observe that the terms „transit“ or „rapid“ are never used in Europe“ (S. 126).

Die europäische Busbranche hat eine lange Tradition und viele Innovationen und Entwicklungen durchgemacht (Finn et al., 2011). Schon ab den 1970er-Jahren wurden Busspuren, Buskorridore und Verkehrsmanagementsysteme eingeführt. Obwohl in den 1990er-Jahren das Tram eine Renaissance erlebte, gewinnen Buslösungen aufgrund der tiefen Investitionskosten seit der Jahrtausendwende wieder vermehrt an Beliebtheit. Heute lässt sich für den europäischen Kontext festhalten, dass „...BHLS die Lücke zwischen konventionellen Bussen und Trams in Bezug auf Kosten, Kapazität und Qualität füllen“ (Hidalgo & Gutierrez, 2011, S. 8). Sie beinhalten sinnvollerweise mindestens die folgenden Elemente:

- Steuerung von einer Leitzentrale,
- dynamische Fahrgastinformation (Haltestellen, evtl. in Fahrzeugen),
- Anbieten von Informationen auf dem Internet,
- Vortritt auf Kreuzungen und automatische Passagierzählsysteme.

Voll umgesetzte Systeme finden sich unter anderem in Nantes (F), Paris (F), Amsterdam (NL), Kent (GB) und Almere (NL). Zu diesen „full BHLS“ gehören auch spurgeführte Pneumtramssysteme wie dasjenige in Caen (F).

2.3. Busses with a high level of service *light* (BHLS light)

In einigen europäischen Städten wie beispielsweise Hamburg (D), Stockholm (S) oder Dublin (IRL) wurden einfachere BHLS-Systeme umgesetzt. Diese unterscheiden sich im Wesentlichen von voll ausgebauten BHLS-Systemen durch eine weniger starke Hierarchisierung innerhalb des ÖV-Angebotes, d.h. sie sind stärker integriert und heben sich weniger vom übrigen Angebot ab. Sie werden in der Literatur oft BHLS light genannt.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 15/64

Angelehnt an der Charakterisierung, die Sorg (2011, S. 32) für BRT light aufgestellt hat, zeichnen sich BHLS-light-Systeme aus durch die Existenz von Busspuren (nicht aber baulich getrennten Korridoren), Billettverkauf an Bord (meistens), bescheidener Bevorzugungstechnik, hohen Bedienungsfrequenzen meist auf einem bestehenden Netz, einer speziellen Marke die sich jedoch in die Gesamtmarke integriert, und tiefen Kosten bei hoher Kapazität.



Abbildung 4: Gelenkbus des BHLS-Systems in Lyon

Quelle: Transbus, online

2.4. Trambahnsysteme

Tramsysteme⁵ haben in Europa und in der Schweiz eine sehr lange Tradition, die über diejenige von Bussystemen weit hinausgeht. Erste Trambahnen wurden bereits Mitte des 19. Jahrhunderts realisiert, zu Beginn meist noch von Pferden gezogen und später elektrifiziert. Heute verfügen die meisten mittelgrossen und grossen europäischen Städte über Tramsysteme. In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat das Tram in Europa eine eigentliche Renaissance erlebt und wurde in vielen Städten und Agglomerationen (wieder) eingeführt, so z.B. in Paris, Barcelona, Valencia oder Bordeaux.

Die meisten Tramsysteme zeichnen sich aufgrund der möglichen Gefässgrösse durch eine hohe Beförderungskapazität aus. Ausserdem profitieren die meisten Trambahnen in Europa von einer weitgehenden Priorisierung im Stadtverkehr – entweder durch Eigentrassierung oder durch geeignete Massnahmen in der Steuerung. Entsprechend resultieren eine relativ hohe Geschwindigkeit und

⁵ Fachlich korrekte Bezeichnung, in der Schweiz meistens „Tram“ bzw. „Tramsystem“ genannt.

eine hohe Zuverlässigkeit. Diese Eigenschaften von Tramsystemen führen dazu, dass Trambahnen oftmals als höherwertige Verkehrssysteme eingestuft werden als Busse. Gibt es also einen eigentlichen „Schienenbonus“? Gemäss Scherrer (2011) ist hier ein genauer Blick auf die Vorteile des Trams angebracht, denn die Wahrnehmung einer höheren Wertigkeit von Tramsystemen bezieht sich nicht auf das Gefäss selbst, sondern auf die aus der Priorisierung resultierenden Eigenschaften (Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit).

In der Schweiz sind Tramsysteme in den fünf grössten Agglomerationen (Zürich, Genf, Basel, Lausanne und Bern) präsent. Seit der Einführung der Agglomerationspolitik des Bundes wurden in diesen Agglomerationen diverse Tramprojekte realisiert, so z.B. die Glattalbahn, das Tram Bern West, die Genfer Linie Cornavin-Besex oder die Verlängerung der Tramlinie 8 von Basel nach Weil (D). Diverse weitere Tramprojekte befinden sich aktuell in den Agglomerationen aller Landesteile in Planung, beispielsweise in Zürich, Bern, Genf, Lausanne und Lugano. Auffällig ist dabei die Ausrichtung auf eine koordinierte Entwicklung von Siedlung und Verkehr, insbesondere in suburbanen Gebieten wie dem Glattal oder dem Limmattal.

Trambahnssysteme hatten früher in der Schweiz eine bedeutend grössere Verbreitung, die über die grossen Agglomerationen hinausging. Noch 1950 waren in mehreren Dutzend Städten in der Schweiz Strassenbahnen oder Trambahnen in Betrieb (wikipedia, online). In Luzern wurde ab 1887 eine elektrische Trambahn auf zwei Linien betrieben (entsprechen ca. den heutigen Linien 1 und 2), bevor sie 1961 dem dann aufstrebenden Autobus weichen musste.

2.5. Fazit

BRT-Systeme werden weltweit, BHLS-Systeme europaweit in sehr vielen Städten mit Erfolg betrieben. Ihre Verbreitung befindet sich in einer anhaltenden Wachstumsphase. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie die günstigen Betriebskosten von pneubasierten Verkehrsmitteln mit den Vorteilen eines Tramsystems (insbesondere Vortritt vor anderen Verkehrsteilnehmern) kombinieren. Von konventionellen Bussystemen unterscheiden sie sich durch eine Hierarchisierung, d.h. sie sind im Vergleich dazu oft als schnelleres, leistungsfähigeres und damit höherwertiges Angebot positioniert. Für BHLS light gilt dies mit Einschränkungen, weil diese Systeme sich weniger stark vom übrigen Angebot abheben.

Parallel zum Wachstum neuer Bussysteme lässt sich in der Schweiz und im übrigen Europa auch eine Renaissance des Trams beobachten. Im Vergleich zu traditionellen Bussystemen haben Tramsysteme eine höhere Kapazität, eine höhere Geschwindigkeit und eine höhere Zuverlässigkeit, weil sie öfter von einer Priorisierung gegenüber anderen Verkehrsträgern profitieren. Bei Neubauten bieten sie aufgrund der notwendigen Planungsarbeiten ausserdem die Chance für städtebauliche Aufwertungen.

Der in Luzern geplante RBus lässt sich gemäss den in Kapitel 2.3 beschriebenen Charakteristika am ehesten der Kategorie BHLS light zuordnen. Von einem vollen BHLS unterscheidet sich die Situation in Luzern insbesondere durch eine fehlende Abhebung des restlichen ÖV-Angebots und durch eine fehlende systematische Priorisierung vor dem motorisierten Individualverkehr. Für diesen Bericht wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit für Luzern von einem BHLS gesprochen; gemeint ist korrekterweise ein BHLS light.

3. Evaluation des passenden Verkehrssystems (Methodisches Vorgehen)

Die Beantwortung der Frage, welches Verkehrssystem für eine bestimmte Agglomeration geeignet ist, bereitet aus methodischer Sicht einige Schwierigkeiten. Insbesondere lässt sich nicht rein fachlich bzw. objektiv festlegen, welches System das Beste ist. Neben fachlichen Kriterien spielen nämlich auch politisch-normative Komponenten eine wichtige Rolle. Scherer (2011) hat beispielsweise nachgewiesen, dass ein bekanntes System besser bewertet wird als ein unbekanntes. In Luzern wird der Bus entsprechend besser bewertet als das Tram; in Zürich umgekehrt (Scherer, 2011, S. 129 - 130). Dennoch ist aus der Erfahrung aus zahlreichen Städten bekannt, welches die wichtigsten Kriterien bei der Wahl eines urbanen Verkehrssystems sind. Tabelle 2 zeigt diese auf.

Tabelle 2: Kriterien für die Verkehrssystemwahl

Kriterium	Beschreibung
Einzugsgebiet	Die Eignung eines Verkehrssystems hängt von den Eigenschaften des jeweiligen Einzugsgebietes ab. Je mehr Einwohner und je dichter die Siedlung, desto leistungsfähiger muss ein Verkehrssystem sein.
Kapazitäten	Ein Verkehrssystem muss genügend Kapazitäten anbieten, um die bestehende und zukünftige erwartete Nachfrage bewältigen zu können.
Kosten	Bezüglich den Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten gibt es sehr grosse Unterschiede zwischen urbanen Verkehrssystemen. Bei den meisten öffentlichen Verkehrssystemen ist die Auswahl begrenzt.
Geschwindigkeit	Höhere Geschwindigkeiten und damit kürzere Reisezeiten sind ein entscheidendes Qualitätskriterium öffentlicher Verkehrssysteme. Je grösser die Agglomeration, desto wichtiger ist dieses Kriterium.
Zuverlässigkeit	Eine hohe Zuverlässigkeit und damit eine höhere Pünktlichkeit steigern die Akzeptanz eines Verkehrssystems.
Takt	Fahrgäste wünschen einen hohen Takt, weil sich dadurch die Wartezeit verkürzt. Die daraus entstehenden Kosten sind oben berücksichtigt.
städtebauliche Entwicklung	In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass eine gute Erschliessung eines Gebietes mit einem öffentlichen Verkehrssystem die dortigen Grundstückspreise um 20 bis 30 Prozent steigen lässt.
Potential zusätzliche Fahrgäste	Attraktivere Verkehrssysteme generieren tendenziell mehr Fahrgäste und damit mehr Einnahmen. In der Schweiz ist allerdings bereits das Ausgangsniveau sehr hoch, so dass auch bei einem sehr guten neuen System nur beschränkte Fahrgaststeigerungen erwartet werden dürfen.
Flexibilität	Der flexible Einsatz der Fahrzeugflotte ist aus Betreibersicht ein wichtiges Kriterium um die Effizienz eines Verkehrssystems zu verbessern.

Quelle: Eigene Darstellung

Ausserdem unterscheiden sich die Ansprüche an ein urbanes Verkehrssystem auch von Betrachter zu Betrachter. Während für den Nutzer die Nutzungskosten wichtig sind, ist für den Betreiber die Raumabdeckung oder Flexibilität entscheidend. Die Zivilgesellschaft sorgt sich hingegen z.B. um die Systemkosten und die Umweltaspekte (vgl. Tabelle 3).

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 18/64

Tabelle 3: Anforderungen unterschiedlicher Akteure an Verkehrssysteme.

Fahrgäste	Betreiber	(Zivil-)gesellschaft
Verfügbarkeit	Räumliche Abdeckung	Qualität der Dienstleistung
Dichter Takt	Zuverlässigkeit	Fahrgastattraktion
Zuverlässigkeit	Umlaufzeit	Systemkosten
Kurze Reisezeit	Kapazität	Zuverlässigkeit im Notfall
Fahrkomfort	Flexibilität	Soziale Zielsetzungen
Einfache Nutzung	Sicherheit	Einflüsse auf die Umwelt
Sicherheit	Kosten	Energieverbrauch
Nutzungskosten	Fahrgastattraktion	Langfristige Wirksamkeit
	Nebeneffekte	

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Vuchic, 2005, S. 530

Die Frage, welche Verkehrssysteme für eine städtische Agglomeration überhaupt in Frage kommen, wird typischerweise in einem mehrstufigen Prozess geklärt. Die unten stehende Abbildung 5 zeigt das für die vorliegende Aufgabenstellung gewählte Vorgehen in fünf Schritten auf. In einem ersten Schritt werden für das Einsatzgebiet passende Verkehrssysteme nach einem Ausschlussverfahren ausgewählt und danach in den Schritten 2 bis 5 in einem vierstufigen Analyseverfahren evaluiert.

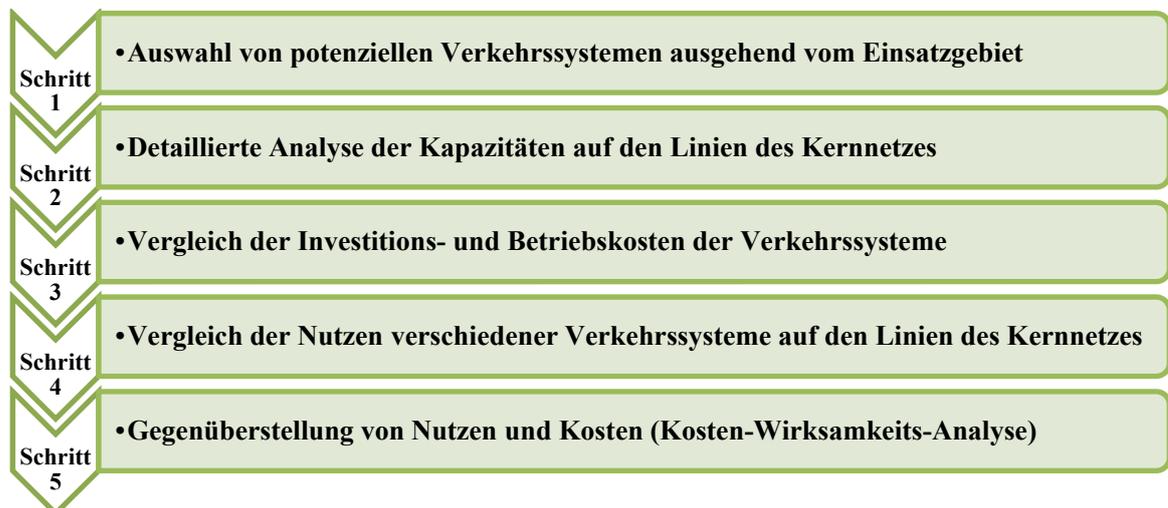


Abbildung 5: Analyseschritte Evaluation passendes Verkehrssystem

Quelle: Eigene Darstellung

Die nachfolgend beschriebenen 5 Schritte zeigen also das gewählte methodische Vorgehen auf. Die konkrete Anwendung auf die Agglomeration Luzern folgt danach in Kapitel 4.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 19/64

3.1. Schritt 1: Auswahl der potenziellen Verkehrssysteme ausgehend vom Einsatzgebiet

Im ersten Schritt werden das anvisierte Einsatzgebiet aufgrund einer Reihe von Faktoren wie Einwohnerzahl, Siedlungsdichte und virtuellem Radius einer Agglomerationsgrössenklasse zugeordnet und daraus die sinnvoll einsetzbaren Verkehrsmittel abgeleitet. Grundlage dafür sind gewisse Schwellenwerte, ab welchem Agglomerationstyp sich welches Verkehrsmittel bewährt (Weidmann, 2011, S. 147ff.). Die Grenzen sind dabei gemäss Weidmann nicht als „hart“, sondern als Richtwerte zu verstehen. Dieser Schritt stellt ein systematisches, aber relativ grobes Raster dar, das nicht auf die Besonderheiten der lokalen Situation eingehen kann.

In der vorliegenden Studie wird das Vorgehen so gewählt, dass eine Zuordnung der Agglomeration Luzern zu einer Agglomerationskategorie gemäss Tabelle 4 vorgenommen wird.

Tabelle 4: Agglomerationskategorien für Schweizer Verhältnisse

<i>Tabelle 60 Agglomerationskategorien</i>			
	EW	Virt. Rad. (km)	Dichte (EW/ha)
Kat.1	>300000	>5.1	>38.5
Kat.2	>140000	>3.5	>38
Kat.3	>65000	>2.6	>27
Kat.4	>55000	>2.4	>30
Kat.5	>45000	>2.0	>21
Kat.6	>27000	>1.7	>20
Kat.7	>20000	>1.5	>22
Kat.8	>10000	>1	>10

Quelle: Eigene Darstellung

Quelle: Weidmann, 2011, S. 150.

Anschliessend werden darauf basierend diejenigen Verkehrssysteme ausgewählt, die grundsätzlich für die Agglomeration in Frage kommen (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Sinnvoll einsetzbare Verkehrsmittel je Agglomerationskategorie

<i>Tabelle 61 sinnvoll einsetzbare Verkehrsmittel in den jeweiligen Agglomerationen</i>								
	Kat.1	Kat.2	Kat.3	Kat.4	Kat.5	Kat.6	Kat.7	Kat.8
S-Bahn-Knoten ¹	Ja	Ja	Bedingt	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
S-Bahn-Anschluss	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Regionalbahn	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
U-Bahn	Ja	Nein						
Stadtbahn	Ja	Nein						
Strassenbahn/Tram	Ja	Ja	Ja	Bedingt	Ja	Ja	Ja	Ja
Stadtbus	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Bedingt
Autobahn: Teile eines Ringes	Ja	Bedingt	Bedingt	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Autobahn: innerstädtisch	Ja	Ja	Bedingt	Bedingt	Bedingt	Bedingt	Nein	Nein
Autobahn: agglomerationsintern	Ja	Ja	Ja	Bedingt	Bedingt	Bedingt	Bedingt	Bedingt
Autobahn: Anschluss	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Velostation	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Fussgängerzone	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

¹ Zentraler Punkt eines S-Bahn-Systemes wie Zürich HB, nicht lediglich Umsteigepunkt
Quelle: Eigene Darstellung

Quelle: Weidmann, 2011, S. 150.

Schliesslich müssen die verschiedenen als geeignet bezeichnete Verkehrssysteme in weiteren Schritten einem detaillierteren Vergleich unterzogen werden. Dafür muss ein gewisser Konkretisierungsgrad in der Planung bezüglich des Verlaufs der Linien, der Belastung, Länge und Geschwindigkeit vorhanden sein. Die entsprechenden Schritte werden unten stehend aufgezeigt.

3.2. Schritt 2: Detaillierte Analyse der Kapazitäten auf den Linien des Kernnetzes

Im zweiten Schritt wird nun für die zu untersuchenden Netzabschnitte eine Kapazitätsanalyse für die nach Schritt 1 verbleibenden Verkehrssysteme durchgeführt. Dabei werden die jeweiligen Angebotskapazitäten der Verkehrssysteme pro Stunde berechnet. In einem Vergleich mit der durchschnittlichen Nachfrage in der Spitzenstunde kann anschliessend gezeigt werden, mit welchem Verkehrssystem mit welcher Taktfrequenz gefahren werden muss, um das entsprechende Passagieraufkommen zu bewältigen. Die Kapazitätsanalyse sollte für verschiedene Wachstumsprognosen (z.B. 40% Wachstum) durchgeführt werden. Dank der Kapazitätenanalyse lassen sich Verkehrssysteme, welche die entsprechenden Kapazitäten nicht mehr aufnehmen können, ausschliessen.

Grundlagen für die Berechnung der Kapazitäten

Für die Berechnung von Kapazitäten brauchte es eine Reihe von Annahmen, die aus ähnlichen Projekten abgeleitet oder geschätzt werden können. Die erarbeiteten Grundlagen beschränken sich auf die vier Verkehrssysteme *Gelenkbus*, *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram*.

Kapazitäten:

Die Spannweite der Kapazitäten von Verkehrssystemen ist sehr gross. Während in Istanbul in Pendlerzeiten bis zu 30'000 Passagiere pro Stunde befördert werden, liegt die Förderkapazität von anderen Bussystemen bei weniger als 1'000 Passagieren pro Stunde. Sehr hohe Kapazitäten sind nur möglich, wenn Busse nicht von anderen Fahrzeugen behindert und entsprechend grosse Fahrzeuge eingesetzt werden, die Möglichkeiten für Ein- und Ausstieg optimiert sind und ein kurzes Intervall zwischen den Bussen liegt.

Die folgende Tabelle zeigt die Fahrzeugkapazitäten, wie sie der Verkehrsverbund Luzern verwendet (Fahrzeugkapazitäten VVL, 2013). Dabei wird in dieser Studie für die Ermittlung des Platzangebotes mit einem maximalen Belegungsgrad der Stehflächen von drei Personen pro Quadratmeter gerechnet. Dies ist ein Mittelwert zwischen den Angaben von Fahrzeugherstellern (rechnen mit 4 P/m²) und den komfortorientierten Planungszahlen von 2 P/m. Bei drei Personen pro Quadratmeter ist ein Fahrzeug zwar gut gefüllt, aber ein relativ komfortables Reisen und ein Ein- und Ausstieg in sinnvollem Zeitrahmen durchaus noch möglich.

Tabelle 6: Fahrzeugkapazitäten.

Verkehrssystem	Sitzplätze ohne Fahrer	Stehfläche in m ²	Stehplätze bei 3 P. pro m ²	Maximale Kapazität pro Fahr- zeuge in Personen
Gelenkbus	41	15	45	86
Doppelgelenktrolleybus	63	23.5	71	134
BHLS ⁶	63	23.5	71	134
Tram 42m	80	38	114	194

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Fahrzeugkapazitäten, VVL

⁶ Das Verkehrssystem *BHLS* weist dieselbe Kapazität wie der Doppelgelenktrolleybus auf. Die Kapazitätsanalyse für den Doppelgelenktrolleybus gilt auch für das Verkehrssystem *BHLS*.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 21/64

Beim Verkehrssystem mit Tram werden die Fahrzeugkapazitäten eines Trams XL (42m Länge) ausgewiesen, weil ein kurzes Tram mit 32m Länge eine ähnliche Kapazität wie ein Doppelgelenktrolleybus aufweist. Da die Infrastrukturen für ein neues Tram sehr teuer sind, scheint deshalb ein Umstieg von einem bestehenden DGT auf ein kurzes Tram wenig realistisch, weshalb auf einen entsprechenden Vergleich verzichtet wird.

Maximale Kapazitäten

Die maximalen Kapazitäten werden pro Stunde ausgewiesen. Beispielsweise kann ein Doppelgelenktrolleybus mit einem 10-Minutentakt maximal 804 Personen pro Stunde transportieren, was 6 Mal 134 Personen entspricht.

Nachfrage:

Für die Passagiernachfrage der zu untersuchenden Linien werden die Linienportraits des entsprechenden Verkehrsunternehmens verwendet. Liegen detaillierte Einsteigerzahlen vor, wird jeweils diejenige Fahrplanstunde genommen, die verteilt über die Wochentage und Fahrzeiten die höchste Belegung ausweist. Die durchschnittliche Belastung während der Spitzenstunde wird je für die Hauptverkehrszeiten (HVZ) und Nebenverkehrszeiten (NVZ) berechnet. Liegen keine genauen Einsteigerzahlen vor, sondern nur die jährlichen Einsteiger Total pro Linie, wird eine Verteilung analog zu den Linien mit detaillierten Einsteigerzahlen angenommen.

Durchschnittliche Belastung (Bemessungsnachfragefaktor):

Die durchschnittliche Belastung während der Spitzenstunde stellt keine absoluten Spitzenwerte dar. Solche absoluten Spitzenwerte können beispielsweise bei einem Sonntagsverkauf oder an einem Tag mit Schneefall auftreten. Als Faktor für die Bemessungsnachfrage wurde mit einem Erfahrungswert von 1.375 gerechnet (Weidmann, 2011 S. 16-17; siehe Glossar). Dieser besteht aus der absoluten Nachfragespitze von 1.5 und der Streuung von 0.25 um die Mittelwerte. Die Bemessungsnachfrage widerspiegelt somit nicht die absolute Nachfragespitze, sondern denjenigen Tag im Jahr mit der 18.-höchsten Nachfrage in der Spitzenstunde. Für die Planung bedeutet dies, dass für 17 Tage im Jahr in Kauf genommen wird, dass die angebotenen Kapazitäten zur Spitzenstunde nicht ausreichen.

Wachstumsszenarien:

Für die Nachfrage wird mit unterschiedlichen Wachstumsszenarien, je nach prognostiziertem Wachstum (z.B. im entsprechenden Agglomerationsprogramm) gerechnet. Das heisst, dass ausgehend vom Status Quo (der durchschnittlichen Belastung) die Passagieraufkommen mit Wachstumsfaktoren (z.B. 1.4 für 40% Wachstum) multipliziert werden.

3.3. Schritt 3: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme

Im dritten Schritt werden die Investitions- und Betriebskosten der gewählten Verkehrssysteme auf den entsprechenden Linien verglichen. Dabei werden die beiden Kostenarten separat ausgewiesen.

Berechnung der Investitionskosten:

Die Investitionskosten fallen für die Strecken pro Linie an, die neu eigentrasseiert werden. Sie setzen sich pro Verkehrssystem aus dem Investitionskostensatz pro km in CHF und der entsprechenden zu bauenden Netzlänge zusammen.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 22/64

Berechnung der Betriebskosten:

Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus der Laufleistung, den Unterhaltskosten für die Infrastruktur und dem Zuschlag für überzählige Reservefahrzeuge.

Die Betriebskosten für die Laufleistung pro HVZ, RVZ oder NVZ berechnet sich aus der doppelten Streckenlänge, der Umlaufzeit eines Fahrzeuges (Fahrzeit Hin- und zurück inkl. Wendezeit) und der Anzahl eingesetzten Fahrzeuge (abhängig vom Takt) pro Fahrplanstunde.

$$\text{Anzahl eingesetzter Fz. pro h} \times 60 \times \frac{(\text{Netzlänge (m)} \times 2)}{(\text{Umlaufzeit})} \times \text{Betriebskostensatz pro Fz.- km}$$

Die Betriebskosten der Laufleistung pro NVZ, RVZ oder NVZ werden danach mit der Anzahl NVZ, RVZ oder NVZ pro Fahrplanjahr multipliziert.

Die Unterhaltskosten der Verkehrssysteme rechnen sich aus den Unterhaltskostensätzen in CHF pro Kilometer und der Netzlänge der zu untersuchenden Linie.

Berechnung der Gesamtannuitäten:

Investitionen in die Infrastruktur verursachen jährliche Zahlungen, die sich aus Zins und Tilgung der Investition zusammensetzen. Um die Annuitäten der Infrastrukturinvestitionen zu berechnen, wird folgende Formel aus der Finanzmathematik verwendet (Tietze, 2011):

$$\text{Annuität} = \text{Investitionskosten} \times \frac{(\text{Zinssatz} \times (1 + \text{Zinssatz})^{\text{Laufzeit}})}{(1 + \text{Zinssatz})^{\text{Laufzeit}} - 1}$$

Um einen Vergleich aller jährlichen Zahlungen pro Verkehrssystem auszuweisen, können die Annuitäten der Investitionskosten und die Betriebskosten auch zusammengefasst werden. Das heisst, dass in den Gesamtannuitäten die jährlichen Zahlungsströme für Betriebskosten, Unterhaltskosten, Investitionen und Zinskosten enthalten sind. In diesem Bericht ist dies eine wichtige Kennzahl für den Vergleich der Gesamtkosten der verschiedenen Verkehrssysteme.

Grundlagen für die Berechnung der Kosten

Für die Berechnung von Kosten brauchte es eine Reihe von Annahmen, die aus ähnlichen Projekten abgeleitet oder geschätzt werden können. Die erarbeiteten Grundlagen beschränken sich auf die vier Verkehrssysteme *Gelenkbus*, *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram*.

Bei der Kostenschätzung ist zwischen Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten zu unterscheiden. Mit ersteren sind die notwendigen Infrastrukturausbauten gemeint.

Länge der Linien in km:

Um eine Kostenschätzung vorzunehmen, muss die Länge der zu untersuchenden Linien bekannt sein. Die Länge der Linien setzt sich aus dem Durchschnitt der Längenangaben beider Richtungen von Endstation bis Endstation zusammen.

Eigentrossierung und Busbevorzugung:

Die Eigentrossierung ist der prozentuale Netzanteil eines Verkehrssystems, auf dem keine anderen Verkehrsteilnehmer den Verkehrsraum mitbenützen (teilweise stellen jedoch Velos und Taxis eine Ausnahme dar). Ein hoher Anteil an Eigentrossierung ermöglicht eine störungsärmere Fahrt und damit eine höhere Zuverlässigkeit und eine kurze Fahrzeit; beides sind zentrale Qualitätsmerkmale

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 23/64

eines Verkehrssystems. Ein ähnlicher Effekt kann beispielweise auch durch eine Bevorzugung von Bussen an Lichtsignalanlagen oder durch Fahrbahnhaltstellen realisiert werden. Ausserhalb der Spitzenzeiten wäre sogar auf den meisten Linien ein Mischverkehr genügend.

Damit wird klar, dass nicht die Eigentrassierung, sondern das Ausmass der Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer der entscheidende Punkt für die Bewertung wäre. Weil diese jedoch ungleich schwieriger zu messen bzw. zu berechnen sind als eine Eigentrassierung, wird im Folgenden letztere als Hilfsgrösse für die Beurteilung des Kriteriums Verkehrsbehinderungen verwendet. Für diesen Bericht werden bei den Investitionskosten für das Tram 100% Baukosten eingesetzt, da bei einer Umstellung auf ein Tramsystem für die gesamte Strecke Investitionskosten anfallen.

Investitionskosten pro Kilometer⁷:

Als pauschaler Kostensatz wird in diesem Bericht bei der Investition in die Tram-Infrastruktur mit 35 Millionen CHF pro Kilometer (Weidmann, 2011a, S. 38) und bei der BHLS-Infrastruktur mit 15 Millionen CHF pro Kilometer mit Eigentrassierung (Finn et al., 2010) gerechnet. Diese Kostensätze sind durchschnittliche Erfahrungswerte aus anderen Tramprojekten aus der Schweiz, bzw. BHLS-Projekten in Europa. Die Kosten für die Infrastruktur des BHLS sind dabei tendenziell eher zu hoch, weil sie den Bau neuer Haltestellen einschliessen, was in Luzern nur an wenigen Stellen der Fall wäre.

Annuitäten der Investitionskosten:

Für Lebensdauer der Infrastruktur wird in diesem Bericht 30 Jahre und für den Zinssatz 3% angenommen. Die Lebensdauer resultiert aus einer mittleren Abschreibungsdauer des Verkehrsnetzes.

Betriebskosten pro Fahrzeugkilometer:

Die Betriebskosten sind stark abhängig von den Rahmenbedingungen. Während in Schwellenländern das tiefe Lohnniveau ein wichtiger Erfolgsfaktor für die personalintensiven BRT-Systeme ist (Sorg 2011), fallen die hohen Lohnkosten bei den BHLS-Systemen in der Schweiz ins Gewicht. Für diesen Bericht werden die Betriebskosten als Vollkostensätze pro Fahrzeugkilometer je Verkehrssystem eingesetzt. Bei einem Gelenkbus sind das CHF 8.-, bei einem BHLS, resp. Doppelgelenktrolleybus sind das CHF 9.-; beim Tram CHF 13.50 pro Fahrzeugkilometer. Die Vollkostensätze entsprechen durchschnittlichen Erfahrungswerten aus anderen Projekten (Weidmann, 2011, S. 140).

Fahrzeiten und Umlaufzeit:

Die Fahrzeiten werden aus dem SBB-Fahrplan (SBB, online) übernommen. Für die Berechnung der Umlaufzeit pro Bus wird in diesem Bericht die Fahrzeit in beide Richtungen plus 2x 3 Minuten Wendezeit an der Endstation (gemäss Auftraggeber) dazugerechnet. Für ein Verkehrssystem mit Eigentrassierung wird gemäss Auftraggeber mit einem Geschwindigkeitszuschlag bzw. einem Fahrzeitabzug von ca. 10% gerechnet.

Anzahl Stunden in der HVZ, NVZ und RVZ:

Um die Betriebskosten aufgrund der Laufleistung während eines ganzen Jahres auszurechnen, müssen die Anzahl Stunden in der HVZ, NVZ und RVZ pro Jahr bestimmt werden. Es wird mit 313 Werktagen (inkl. Samstagen) und 52 Sonntagen gerechnet. Die Anzahl Stunden in der HVZ, NVZ

⁷ Diese Investitionskostenberechnung über Netzkilometerpauschalen ist summarisch. Sie bezieht theoretisch auch Nebenanlagen (z.B. für die Elektrifizierung) mit ein; allerdings werden Skaleneffekte nicht berücksichtigt. Eine genauere Berechnung würde das Ausarbeiten von (sehr groben) Vorprojekten bedingen, was für eine grosse Zahl von Varianten mit einem nicht angemessenen Aufwand verbunden wäre.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 24/64

und RVZ pro Werktag, resp. Sonntag wird aus den Linienfahrplänen der VBL (Stand 2014) abgeleitet (VBL, online). Die folgende Tabelle 7 zeigt die Anzahl Fahrplanstunden nach Wochentag. Pro Tag wird mit 20 Fahrplanstunden gerechnet (VBL, online).

Tabelle 7: Anzahl Fahrplanstunden pro Wochentag.

	HVZ	NVZ	RVZ
Werktag inkl. Samstag pro Tag	6	9	5
Sonntag pro Tag	0	13	7
Total pro Jahr	1878	3493	1929

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fahrpläne VBL, 2014

Nun werden die Anzahl Stunden in der HVZ, NVZ und RVZ an Werktagen je mit 313 multipliziert sowie an Sonntagen je mit 52. Pro Jahr bedeutet dies als Total aus Werktagen und Sonntagen 1878 Stunden in der HVZ, 3493 in der NVZ und 1929 in der RVZ. Diese Aufteilung kann für jedes Verkehrsunternehmen beliebig angepasst werden.

Unterhaltskosten Infrastruktur pro Jahr pro Netzkilometer:

Zu den Betriebskosten werden die Unterhaltskosten für die Infrastruktur pro Jahr dazugerechnet. Als Grundlage für die Unterhaltskosten für die Infrastruktur wurden Kostensätze der Stadt Zürich verwendet. Ein Tram kostet demnach 75'000 CHF pro Netzkilometer pro Jahr und ein BHLS- oder Bus-System 50'000 CHF pro Netzkilometer.

Kostenzuschlag für überzählige Reservefahrzeuge:

Überzählige Reservefahrzeuge verursachen Betriebskosten. Die untersuchten Fahrzeugtypen sind nur auf dem Kernnetz unterwegs. Das bedeutet gleichzeitig, dass für die Bestimmung der Reservefahrzeuge das übrige Netz ausgeblendet wird. Gemäss Erfahrung von anderen Verkehrsunternehmen braucht es 15% Ersatzfahrzeuge in der Spitzenstunde (Weidmann, 2011, S. 26). Liegt der Anteil an Reservefahrzeuge über 15% wird ein Reservezuschlag von 50% der normalen Betriebskosten verrechnet.

3.4. Schritt 4: Vergleich der Nutzen auf den Linien des Kernnetzes

Für die Evaluation des passenden Verkehrssystem sind nicht nur die Kosten und Kapazitäten der entsprechenden Verkehrssysteme wichtig, sondern auch deren Nutzen (vgl. Tabelle 2). Für die verbleibenden Verkehrssysteme wird im Schritt 4 eine Rangfolge pro Nutzenkriterium erstellt, wobei der erste Rang an das am besten abschneidende Verkehrssystem pro Nutzenkriterium geht. Total werden pro Nutzenkriterium 6 Rangpunkte vergeben (1 für 1. Rang, 2 für 2. Rang und 3 für 3. Rang). Bei gleich hohem Nutzen eines Nutzenkriteriums erhalten die ersten beiden Verkehrssysteme 1.5 Rangpunkte und das dritt platzierte System 3 Rangpunkte. Die verschiedenen Nutzenkriterien werden mit dem Faktor 1 bis 3 gewichtet. Das Total aller Rangpunkte pro Verkehrssystem zeigt, welches der untersuchten Verkehrssysteme bezogen auf den Nutzen am besten abschneidet. Dabei schneidet in Bezug auf den Nutzen das Verkehrssystem am besten ab, das eine möglichst tiefe Anzahl Rangpunkte aufweist.

Grundlagen für die Nutzenkriterien

Für die Bewertung des Nutzens sind die in Tabelle 2 aufgeführten Nutzenkriterien (ohne Kosten) in diesem Bericht relevant. Für diese Nutzenkriterien brauchte es eine Reihe von Annahmen, die aus

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 25/64

ähnlichen Projekten abgeleitet oder geschätzt werden können. Die erarbeiteten Grundlagen beschränken sich auf die vier Verkehrssysteme *Gelenkbus*, *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram*.

Geschwindigkeit:

Fahrzeuge mit Eigentrassierung sind in der Regel (bei hohem Verkehrsaufkommen) schneller auf der gesamten Strecke als Fahrzeuge ohne Eigentrassierung. Allen BHLS- und Tramsystemen in Europa ist gemeinsam, dass sie Verbesserungen bei der Geschwindigkeit und damit bei der Reisezeit erzielen. Innerhalb von europäischen Städten liegt die Steigerung der Geschwindigkeit im Bereich von 15-27km/h, für dichtbesiedelte Städte wie Luzern oder Zürich ist allerdings mit einer kleineren Geschwindigkeitssteigerung zu rechnen.

Zuverlässigkeit:

Je geringer die Behinderungen, desto höher die Zuverlässigkeit in Bezug auf die Einhaltung des Taktfahrplanes. Die Priorisierung, welche die Fahrzeuge auf der Strasse haben, hat einen direkten Einfluss auf die Fahrzeit und die Zuverlässigkeit der Fahrzeuge. Als Indikator wird der Anteil der Eigentrassierung an der gesamten Länge der Linie eingesetzt (vgl. Kapitel 3.3). Am zuverlässigsten ist in Bezug auf Behinderungen im Strassenverkehr ein Verkehrssystem mit Trams. Andere Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr gewähren einem Tram aufgrund seines langen Bremsweges vermutlich eher den Vortritt als einem Bus.

Takt:

Fahrzeuge mit weniger Kapazität müssen häufiger fahren. Das bedeutet, dass für die Passagiere ein dichter Taktfahrplan entsteht, was ein Qualitätsmerkmal darstellt. Im urbanen Transport wird generell die Takt-Frequenz wichtiger gewichtet als der Komfort (Sorg, 2012 & Finn et al., 2010). Als Indikator wird der durchschnittliche Takt über alle untersuchten Linienabschnitte in der HVZ verwendet (Werktags). Dabei erhält ein 6.5'-Minutentakt die bestmögliche Nutzenbewertung, da eine höhere Taktfrequenz gemäss Auftraggeber aus Kundensicht in der Regel keine Qualitätsverbesserung bringt. Bei zu dichtem Takt leidet die Zuverlässigkeit aufgrund der Aufschaukelung von dicht hintereinander fahrenden Kursen.

Anmerkung: Das Nutzenkriterium *Takt* wird in diesem Bericht aus Kundensicht und nicht aus Betreibersicht bewertet. Aus Betreibersicht würde ein dichter Takt vermutlich eher negativ bewertet, da dieser Störungsanfälliger ist.

Städtebauliche Aufwertung:

Neue Verkehrsangebote können grosse Auswirkungen auf den öffentlichen Raum, die Immobilienpreise und damit die gesamte Stadtentwicklung haben. Eine grosse Anzahl von Fallstudien belegt dies eindeutig (Deng & Nelson, 2011, S. 87), wobei die Datenqualität bei Tram- und Metrolinien deutlich besser ist als bei BHLS- bzw. BRT-Linien (ebenda, S. 88). Dies liegt daran, dass bei schienengebundenen Systemen aufgrund der höheren Investitionskosten ein grösserer Anreiz für ein entsprechendes Controlling der Auswirkungen besteht als bei Bussystemen. In zahlreichen europäischen Ländern muss bei der Überschreitung eines gewissen Grenzwertes sogar obligatorisch ein Monitoring durchgeführt werden (Finn et al., 2010, S.108).

In der Forschung ist heute weitgehend unbestritten, dass neue Verkehrsinfrastrukturen für Metro und Tram zu einer Aufwertung von Immobilien und Grundstücken in Haltestellennähe führen. Die Zahlen für die Wertsteigerung gehen allerdings zwischen den untersuchten Städten weit auseinander. Der Hauptgrund für die Wertsteigerung wird generell darin gesehen, dass die kürzeren Reisezeiten in der Nähe von Haltestellen dazu führen, dass die entsprechenden Gebiete sowohl für Privathaus-

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 26/64

halte als auch für Unternehmen attraktiv sind und entsprechend stärker nachgefragt werden. Neben der Wertsteigerung von Immobilien und Grundstücken wurde in zahlreichen Städten eine eindeutige Zunahme der baulichen Aktivität nachgewiesen (Deng & Nelson, 2011, S. 88).

Allerdings dürfen diese Resultate zu schienengebundenen Systemen nicht direkt auf BHLS-Systeme übertragen werden, denn hier ist der Effekt unter Experten umstritten. Zwar wurden in Fallstudien zu Brisbane, Ottawa, Pittsburgh und Curitiba städtebauliche Auswirkungen nachgewiesen (Levinson et al., 2002 in Deng & Nelson, 2011, S.89 & Currie, 2006). Für Boston und Ottawa wird von Investitionssummen um je 700 Mio. US\$ in Immobilien nach der Einführung von BRT-Linien gesprochen. Auch für Curitiba, Bogotá, Los Angeles, Las Vegas, Orlando, Seoul und weitere Städte wurden hohe Investitionssummen nachweislich durch neue BRT-Systeme ausgelöst. In Bogotá wurden Preissteigerungen von 13-14% in der Nähe von Haltestellen des TransMilenio gemessen. Andere Experten wie Hecker (2003) bezweifeln jedoch generell die Fähigkeit von BRT-Systemen, die Stadtentwicklung positiv zu beeinflussen. Die relevanten Unterschiede zwischen Tram- und Bussystemen bestehen offenbar einerseits darin, dass nicht alle BHLS-Systeme die gleich grossen Vorteile in der Angebotsentwicklung bringen. Andererseits wird aufgrund der baulichen Infrastruktur ein Schienensystem wohl eher als langfristige Sicherheit für eine Aufwertung anerkannt als ein Bussystem, das in Zukunft eventuell wieder flexibel umgestellt werden könnte (Deng & Nelson, 2011, S. 89).

In einem europäischen Forschungsprojekt wurde untersucht, welche städtebaulichen Aufwertungen bei der Einführung neuer Bussysteme realisiert wurden (Finn et al., 2010, S. 104ff.) Auch hier bestehen grosse Unterschiede zwischen den Projekten. Ob die Chance für städtebauliche Aufwertung genutzt wird, hängt massgeblich von den Zielsetzungen und damit letztlich vom politischen Willen ab. Die Abbildung 6 zeigt diese Unterschiede auf. 0 zeigt eine fehlende Auswirkung an, 1 eine schwache, 2 eine mittelstarke und 3 eine starke Aufwertung. Während also z.B. in Nantes sehr grosse Eingriffe getätigt wurden, gab es in Barcelona gar keine städtebaulichen Projekte.

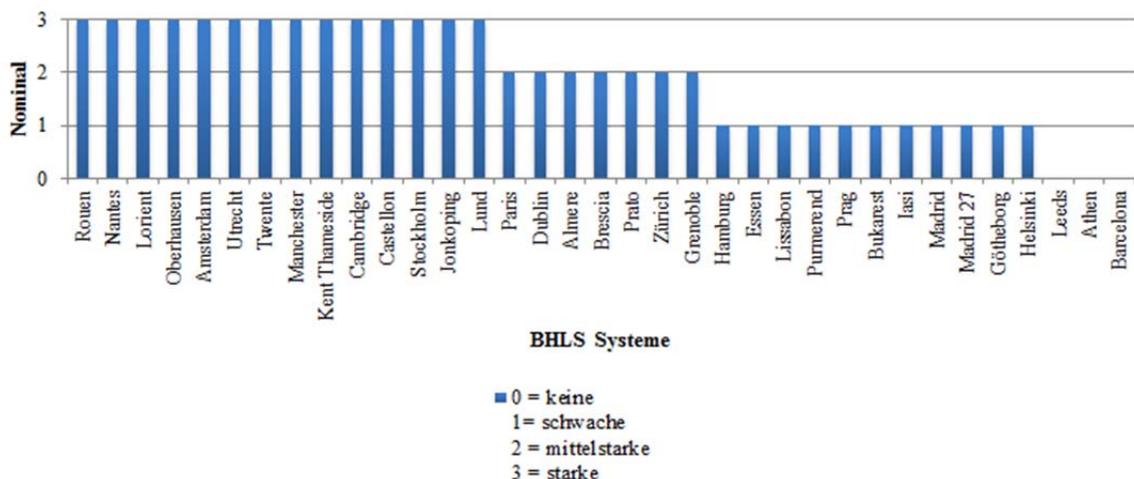


Abbildung 6: Städtebauliche Aufwertung bei der Einführung von Bussystemen in Europa.

Quelle: Finn et al 2010, S. 106

Es lässt sich also nicht eindeutig feststellen, ob und wie stark neue BHLS-Systeme die Immobilienpreise und die Stadtentwicklung beeinflussen. Die Hinweise sprechen jedoch dafür, dass bei einer grösseren Angebotsverbesserung die Chancen auf eine Entwicklung entlang der Linie bzw. bei den

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 27/64

Haltestellen besser stehen als bei marginalen Neuerungen. Hingegen ist die städtebauliche Aufwertung bei der Einführung von schienengebundenen Verkehrssystemen weitgehend unumstritten. Aus den beschriebenen Gründen erhält in dieser Nutzenbewertung ein Tramsystem am meisten Potential für eine städtebauliche Aufwertung, gefolgt von BHLS.

Potential zusätzliche Fahrgäste:

Die Steigerung der Fahrgastzahlen und des Modal Split gehört zur Zielsetzung jedes neuen öffentlichen Verkehrssystems. Entsprechend wird die Messung der Fahrgastzahlen fast immer durchgeführt, und entsprechend gut ist die Qualität der vorhandenen Daten. Sowohl bei BRT-Systemen (im amerikanischen Kontext) als auch bei BHLS-Systemen (im europäischen Kontext) sind die Resultate eindeutig: die Einführung leistungsstarker und attraktiver Bussysteme führt in allen dokumentierten Fällen zu einer Steigerung der Fahrgastzahlen. Abhängig vom Niveau der Angebotsverbesserung, den Siedlungsstrukturen und der Kommunikation bewegen sich die Zuwächse in Europa zwischen 15% und 150% (BHLS-Systeme) bzw. zwischen 20% und 120% in Amerika (BHLS-Systeme).

Wichtig ist dabei die Feststellung, dass die Zunahme der Fahrgastzahlen nicht von heute auf morgen erreicht werden kann, sondern immer mehrere Jahre in Anspruch nimmt (Finn et al., 2010). Das mögliche jährliche Wachstum beziffern Finn et al. (2010) im europäischen Umfeld mit 3 bis 20%. Ausserdem braucht es offenbar eine für die Fahrgäste deutlich spürbare Angebotsverbesserung. Das einzig bekannte Fallbeispiel weltweit, bei dem kein Nachfragezuwachs entstanden ist, ist die Linie 64 in Los Angeles. Der Grund für den ausbleibenden Erfolg identifizierten Deng & Nelson (2010) bei der fehlenden Eigentrassierung. Die entsprechende Linie operiert im gemischten Verkehr und mit konventionellen Bussen. Dies legt den Schluss nahe, dass die potenziellen Fahrgäste den Mehrwert des neuen Systems nicht erkannt haben.

Ebenso wichtig wie eine Steigerung der Fahrgastzahlen ist allerdings die Frage, ob BHLS- und BRT-Systeme tatsächlich zu einer Änderung in der Verkehrsmittelwahl führen und nicht nur Mehrverkehr generieren. Verändert sich also der Modal Split bei der Systemeinführung zu Gunsten des öffentlichen Verkehrs? Die Resultate aus Europa lassen darauf schliessen: hier wurden in allen von 10 untersuchten Fallbeispielen signifikante Umsteigeeffekte vom Auto her nachgewiesen, nämlich zwischen 5% in Stockholm und 30% in Nantes. Der durchschnittliche Umsteigeranteil vom Auto liegt dabei bei rund 15%. Interessant ist ausserdem, dass in einzelnen Beispielen auch relativ hohe Umsteigeeffekte vom Velo her (insbesondere auf längeren Distanzen in Twente NL, 24%) bzw. von der Metro her (Stockholm, rund 60%) gemessen wurden. In Adelaide stiegen die Fahrgastzahlen um 24% an, wovon knapp die Hälfte vom Auto umstieg (Levinson et al., 2003, Currie, 2006 in Deng & Nelson, 2010, S. 85). Diese Ausführungen gelten gleichermassen auch für ein Verkehrssystem mit Trams. Vermutlich ist davon auszugehen, dass am Anfang ein System mit Trams vermutlich mehr Gäste anlocken würde, da der Marketingeffekt bei der Einführung deutlich höher ist.

Flexibilität:

Je weniger Schiene, desto flexibler ist das Verkehrssystem. Ein Doppelgelenktrolleybus oder auch ein Verkehrssystem mit BHLS ist flexibler. Bei einem System mit Doppelgelenktrolleybussen müssen nur kleinere Infrastrukturmassnahmen (wie z.B. Fahrleitungen) realisiert werden. Ein System mit BHLS hingegen braucht Infrastrukturmassnahmen wie Priorisierungen oder längere Haltekannten (letzteres dort, wo heute Gelenkbusse verkehren), was eine gewisse Einschränkung in der Flexibilität bedeutet. Grundsätzlich sind die entsprechenden Busse flexibel nutzbar, mit der Einschränkung dass sie sich optisch von den bestehenden Fahrzeugen deutlich abheben. Das Tram ist hier am unflexibelsten, weil es bloss auf relativ grossen Teilstücken betrieben werden kann.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 28/64

3.5. Schritt 5: Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten (Kosten-Wirksamkeits-Analyse)

In Schritt 4 wurden die Rangpunkte pro Verkehrssystem vergeben. Um die Rangpunkte in Relation zu den Kosten zu setzen, wird in Schritt 5 eine Kosten-Wirksamkeitsanalyse⁸ durchgeführt. Bei einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse werden die gewichteten Rangpunkte pro Verkehrssystem mit den Kosten multipliziert. Dabei wird der Kosten-Wirksamkeitsquotient für Betriebskosten, Investitionskosten und Gesamtannuitäten separat berechnet. Die Methodik gibt Auskunft darüber, welches Verkehrssystem pro investiertem Schweizer Franken relativ gesehen zu den untersuchten Verkehrssystemen am meisten Nutzen stiftet. Das Verkehrssystem mit den tiefsten Wirksamkeitsquotienten für die drei Kostenarten, wird als passendstes Verkehrssystem für die untersuchten Linien bestimmt (tiefe Kosten, tiefe Anzahl Rangpunkte).

⁸ Im Gegensatz zu einer Kosten-Nutzen-Analyse werden in einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse die Nutzen „nur“ auf einer Skala bewertet und nicht monetarisiert.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 29/64

4. Evaluation des passenden Verkehrssystem für die Agglomeration Luzern

Im Folgenden Kapitel wird das in Kapitel 3 beschriebene Evaluationsverfahren auf die Agglomeration Luzern angewendet.

4.1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Linie 1 von Kriens-Obernau via Bahnhof Luzern nach Maihof (ab 2018 bis Ebikon Bahnhof) – transportiert jährlich gegen 10 Millionen Einsteiger und ist damit die nachfragestärkste Linie der gesamten Zentralschweiz. Auf der Linie 1 verkehren drei Doppelgelenktrolleybusse (DGT) und neun Anhängerzüge (Standardtrolley plus Anhänger). Die weiteren Linien weisen jeweils bis 4,5 Millionen Einsteiger auf. Auf den Linien 2, 4, 6, 7 und 8 verkehren heute Gelenktrolleybusse, auf allen weiteren Linien Gelenkbusse oder Standardbusse mit Dieselaggregat. Durch die Auftraggeberin VVL wurden die heutigen Linien 1, 2, 8 und 12 für die Untersuchung als relevant definiert. Diese vier Linien verkehren auf Hauptachsen und erschliessen die Agglomeration ideal (vgl. Abbildung 7: Kernnetz der Agglomeration Luzern (Linien 1, 2, 8 und 12).Abbildung 7). Sie werden als Kernnetz bezeichnet und bilden den Gegenstand der Analysen. In diesem Bericht nicht analysiert werden die Linien der S-Bahn Zentralschweiz.

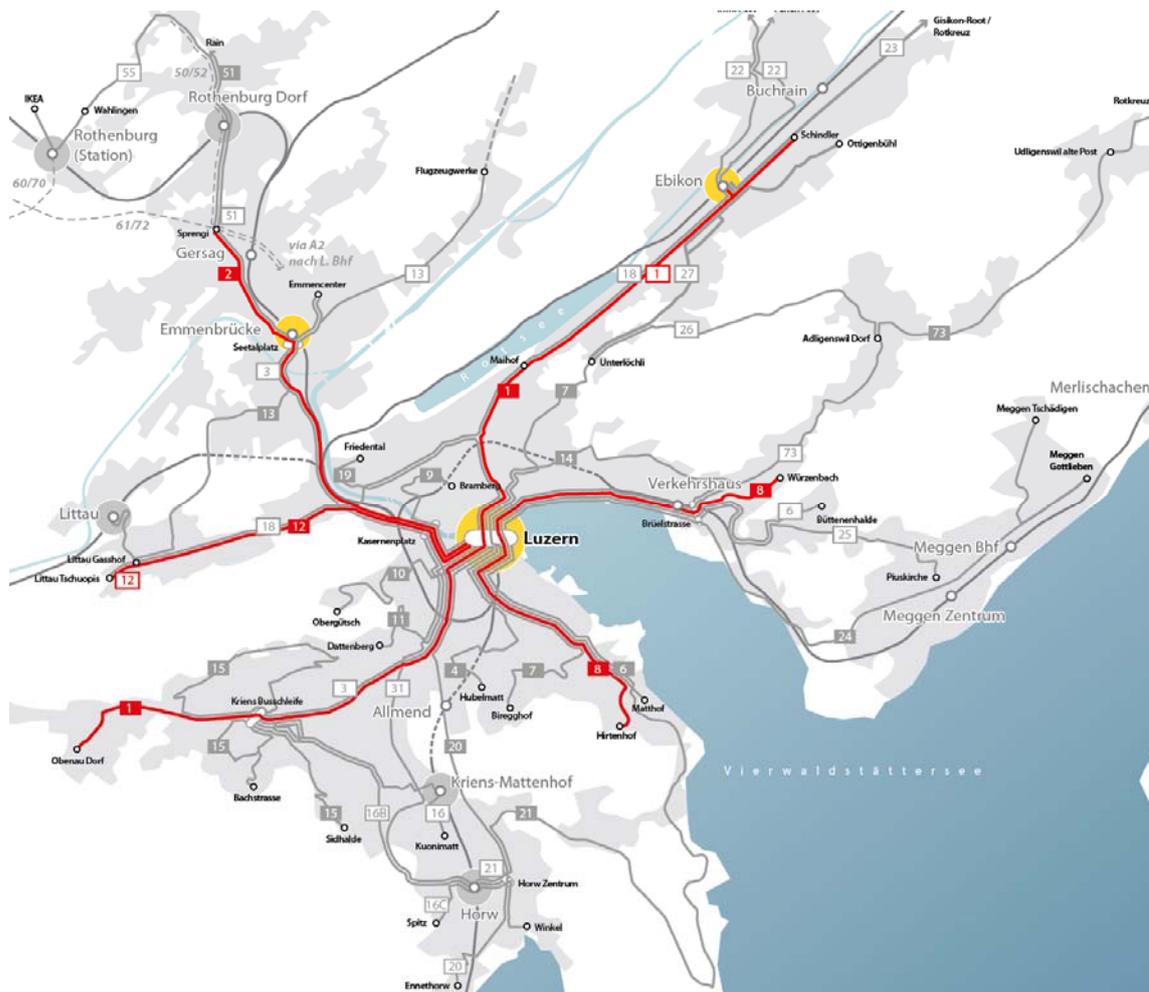


Abbildung 7: Kernnetz der Agglomeration Luzern (Linien 1, 2, 8 und 12).

Quelle: Verkehrsverbund Luzern

Für die Evaluation des passenden Verkehrssystems werden die Kapazitäten, Kosten und Nutzen der wichtigsten ÖV-Linien untersucht (vgl. Abbildung 7) und einander gegenüber gestellt.

4.2. Rahmenbedingungen und Grundlagen für die Analysen

Die Wahl des richtigen Verkehrssystems für den öffentlichen Verkehr in einer Agglomeration ist eine komplexe Frage, die nicht nur von quantitativ belegbaren Faktoren, sondern auch vom politischen Willen, der geplanten Entwicklung im jeweiligen Siedlungsgebiet und von den städtebaulichen Möglichkeiten abhängt. Bevor mit dem Ausschlussverfahren und den vier Analyseschritten begonnen werden kann, müssen einige **Vorentscheidungen** für die Agglomeration Luzern getroffen werden:

1. Als Planungshorizont wird das Jahr 2030 gewählt. Für dieses Jahr wird im Agglomerationsprogramm 2. Generation für den öffentlichen Verkehr ein Verkehrswachstum von 40% prognostiziert.
2. Bei der Nachfrage wird – abgestützt auf das Agglomerationsprogramm Luzern – auf allen Abschnitten aller untersuchten Linien mit einem linearen Verkehrswachstum von 40% gerechnet. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse werden zusätzlich ein Wachstum von je 20% und 60% untersucht. Als Spezialanalyse für die definierten Wachstumsgebiete Luzern Nord (Linie 2) und Luzern Littau (Linie 12) wird ausserdem ein Wachstum von 100% untersucht, weil hier die grossen Wachstumsgebiete Luzern Nord bzw. Littau Grossmatte/Luzern West liegen. Auf eine noch detailliertere Analyse der Siedlungsentwicklung und die damit zu erwartenden Nachfragezuwächse wird hier verzichtet.
3. Es werden nur die bezeichneten und aktuellen Linien (1, 2, 6, 8, 12) des Feinverteilers (Busnetz) untersucht („Kernnetz“). Die geplante Linie 3 wird bei diesen Analysen vernachlässigt.
4. Für eine minimale Korridorbildung werden die Linien 6 und 8 zur „neuen“ Linie 6/8 zusammengefasst. Dies ist realistisch weil beide Linien auf über 90% der Strecke gemeinsam verkehren und in der zukünftigen Linienplanung eine Zusammenlegung sinnvoll sein könnte.
5. Überlegungen zur Netzentwicklung werden im Rahmen des vorliegenden Berichtes keine angestellt.
6. Die Möglichkeiten für eine Eigentrassierung sind in der Siedlungsstruktur der Agglomeration Luzern stark eingeschränkt. Für Tram und BHLS wird mit einem Anteil an Eigentrassierung von 20% gerechnet, was als Maximum angesehen werden kann. Aktuell beträgt dieser Anteil 7,12% (Weidmann, 2011, S. 66).
7. Für die Kapazitäten und Kosten wird mit einem 15', 10', 7.5', 6', 5' und 4'-Minutentakt gerechnet. Bei einem 4'-Takt entstehen allerdings oft Probleme in der Betriebsqualität, weil die Abstände zwischen den Fahrzeugen nicht stabil gehalten werden können („Aufschaukelung“).
8. Basierend auf dem Anspruch eines hochwertigen Angebotes im öffentlichen Verkehr und einem starken erwarteten Nachfragewachstums wurde auf den untersuchten Linien des Kernnetzes eine minimale Bedienung im 15'-Takt in Randverkehrszeiten und 10' in Nebenverkehrszeiten und 7.5' in Hochfrequenzzeiten vorgegeben.
9. Detaillierte Einsteigerzahlen aller Fahrplanstunden und Teilstrecken liegen für die Linien 1 und 2 vor (vgl. schriftliche Auskunft). Für die Linie 6, 8 und 12 liegen nur pauschale Einsteigerzahlen vor (vgl. schriftliche Auskunft). Diese haben für die Berechnungen den Nachteil, dass die Verteilung der Einsteiger entlang der Linie und damit die effektive Belastung der einzelnen Busse unbekannt bleiben. Um die durchschnittliche Belastung während der Spitzenstunde für die Linie 6/8 auszuwei-

sen wurde eine Verteilung analog zur Linie 1 angenommen. Die Linie 6/8 ist wie die Linie 1 eine Durchmesserlinie und bedient ebenfalls die zentrale Hauptachse Kantonalbank – Bahnhof - Schwanenplatz. Für die Linie 12 wurde eine Verteilung analog zur Linie 2 vorgenommen, da beide Radiallinien sind.

10. Es werden keine „Mischrechnungen“ zwischen den einzelnen Verkehrssystemen gemacht. Dies bedeutet, dass auf den untersuchten Linien jeweils nur ein Verkehrssystem eingesetzt wird (vgl. auch Kapitel 1.1). Aus diesem Grund wird der Anteil an Reservefahrzeuge nicht über 15% betragen, weshalb für die Agglomeration Luzern auch keine Beträge für überzählige Reservefahrzeuge anfallen (vgl. Kapitel 3.3).

4.3. Schritt 1: Auswahl der potenziellen Verkehrssysteme ausgehend vom Einsatzgebiet

Die Agglomeration Luzern hat rund 200'000 Einwohner, eine Siedlungsdichte von 43 Einwohnern pro Hektare und einen virtuellen Radius von 3,9 km. Damit ist Luzern eine mittelgrosse Agglomeration, und sie weist die höchste Siedlungsdichte aller Schweizer Agglomerationen auf. Sie wird damit gemäss den Kriterien von Weidmann (2011) der Agglomerations-Kategorie 2 zugeordnet (vgl. Tabelle 4). Für diese Kategorie eignen sich bis auf U-Bahn, Hochbahn und Stadtbahn alle in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmittel, inkl. Tram⁹ (vgl. Tabelle 5). Das heisst für die vorliegende Studie, dass für Luzern die Verkehrssysteme *Gelenkbus*, *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram* untersucht werden. In den folgenden vier Schritten wird überprüft, welches dieser vier Verkehrssysteme für die Agglomeration Luzern in Zukunft am besten geeignet ist.

4.4. Schritt 2: Detaillierte Analyse der Kapazitäten auf den Linien des Kernnetzes

Für die Linien 1, 2, 6/8 und 12 wird im zweiten Schritt eine Kapazitätsanalyse der vier verbleibenden Verkehrssysteme durchgeführt (vgl. Tabelle 8). Wie bereits erwähnt werden dabei die Linien 6 und 8 zusammengefasst. Die folgende Tabelle zeigt die Linienportraits pro untersuchte Linie zum aktuellen Zeitpunkt (Status Quo) ohne Bemessungsnachfragefaktor.

Tabelle 8: Linienportraits gemäss Status Quo.

Linie	Länge in m ¹⁰	Fahrzeit Richtung 1 (7-8 Uhr)	Fahrzeit Richtung 2 (7-8 Uhr)	Umlauf- zeit pro Bus	Umlaufzeit mit Eigen- trassierung	Belastung HVZ	Belastung NVZ
1	7877 m	30 Min.	28 Min.	64 Min.	58 Min.	919 Personen	396 Personen
2	5593 m	19 Min.	18 Min.	43 Min.	39 Min.	478 Personen	235 Personen
6/8	7266 m	22 Min.	23 Min.	51 Min.	46 Min.	712 Personen	307 Personen
12	4390 m	14 Min.	13 Min.	33 Min.	30 Min.	319 Personen	156 Personen

Quelle: Eigene Darstellung, Daten VBL

Durch die entsprechende Eigenttrassierung von 20% (vgl. Kapitel 4.2) entsteht ein Geschwindigkeitszuschlag von 10%. Das bedeutet, dass beispielsweise auf der Linie 1 sechs Minuten auf der ganzen Strecke (beide Richtungen) eingespart werden können (vgl. Tabelle 8). Ein Verkehrssystem mit Tram erhält denselben Geschwindigkeitszuschlag wie BHLS, da in Luzern auch beim Tram mit einer maximalen Eigenttrassierung von 20% zu rechnen ist. Die zwei letzten Spalten der Tabelle 8 zeigen die durchschnittliche Belastung während der Spitzenstunde zu den HVZ und NVZ je Linie.

⁹ Ein Verkehrssystem mit Seilbahn wird aus Kostengründen für die Evaluation ausgeschlossen.

¹⁰ Die Längenangaben stammen von der VBL.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 32/64

In der folgenden Tabelle sind die Bemessungsnachfrage in der HVZ und der NVZ der verschiedenen für die Analyse der Agglomeration Luzern relevanten Wachstumsszenarien abgebildet. Im Gegensatz zur Tabelle 8 ist hier der Faktor 1.375 für die Berechnung der Bemessungsnachfrage (vgl. Kapitel 3.2) bereits eingerechnet.

Tabelle 9: Bemessungsnachfrage nach Wachstumsszenario in Passagieren pro Fahrplanstunde

Linie	Wachstumsszenario	Bemessungsnachfrage in Stunden der HVZ	Bemessungsnachfrage in Stunden der NVZ
Linie 1	Status Quo	1264 Personen	545 Personen
	20% Wachstum	1516 Personen	653 Personen
	40% Wachstum	1769 Personen	762 Personen
	60% Wachstum	2022 Personen	871 Personen
Linie 2	Status Quo	657 Personen	323 Personen
	20% Wachstum	789 Personen	388 Personen
	40% Wachstum	920 Personen	452 Personen
	60% Wachstum	1052 Personen	517 Personen
Linie 6/8	Status Quo	979 Personen	422 Personen
	20% Wachstum	1175 Personen	507 Personen
	40% Wachstum	1371 Personen	591 Personen
	60% Wachstum	1566 Personen	675 Personen
Linie 12	Status Quo	439 Personen	215 Personen
	20% Wachstum	526 Personen	257 Personen
	40% Wachstum	614 Personen	300 Personen
	60% Wachstum	702 Personen	343 Personen
	100% Wachstum	877 Personen	429 Personen

Quelle: eigene Darstellung

Das Wachstumsszenario von 40% entspricht dem Agglomerationsprogramm Luzern (Kanton Luzern, 2012, S. 75).

Diese Werte aus Tabelle 9 bilden die Grundlage für die nachfolgenden Kapazitätsanalysen der Linien 1, 2, 6/8 und 12. Die folgenden Kapitel 4.4.1 bis 4.4.4 zeigen je Verkehrssystem auf, mit welchem Takt in den Spitzenverkehrszeiten gefahren werden muss, um das maximale Verkehrsaufkommen bewältigen zu können.

4.4.1. Linie 1 Maihof - Obernau Dorf (HVZ)

Die folgende Abbildung zeigt die Kapazitätsanalyse der Linie 1 (Maihof - Obernau Dorf) zu den Hauptverkehrszeiten für unterschiedliche Taktfrequenzen und Verkehrswachstumsszenarien.

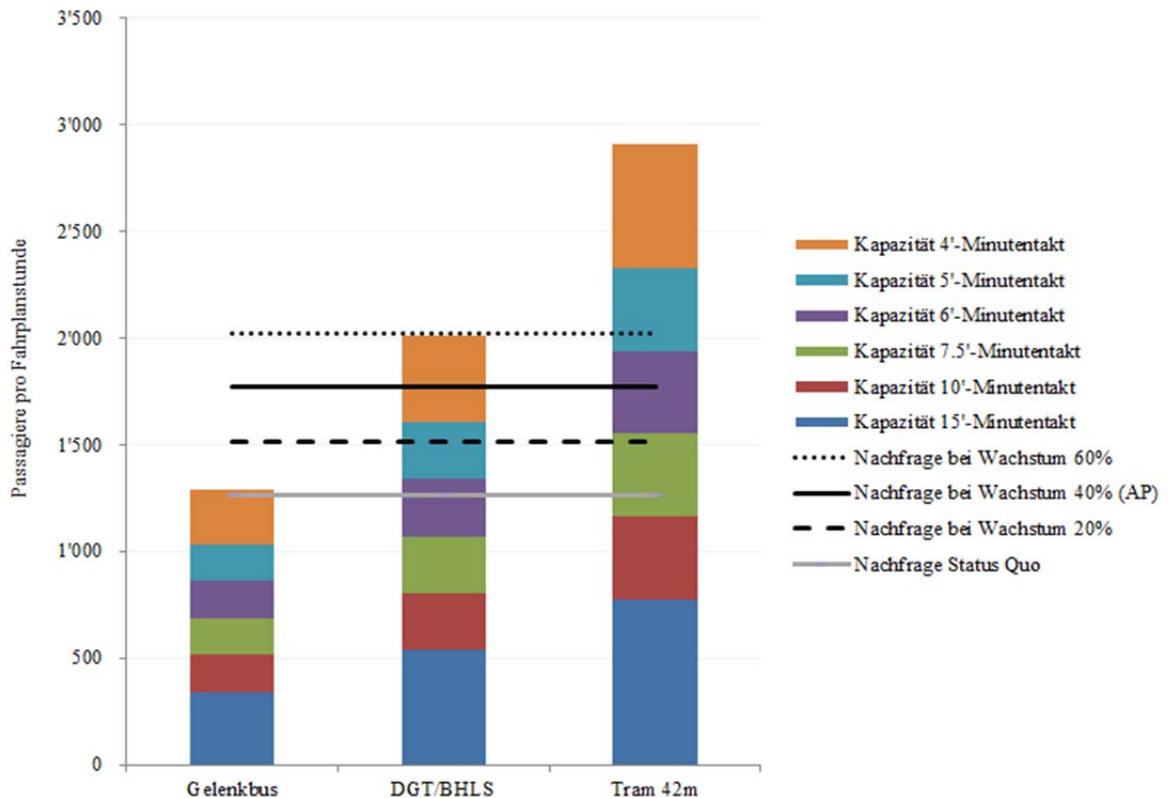


Abbildung 8: Kapazitätsanalyse Linie 1 in der HVZ.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Kapazitätsanalyse der Linie 1 (Maihof - Obernau Dorf) zeigt, dass der Gelenkbus bereits bei einem Wachstumszenario von 20% an seine Kapazitätsgrenzen stösst und der geschätzten Spitzennachfrage von 1516 Passagieren pro Fahrplanstunde nicht mehr standhält. Ein 40% Wachstum mit einer geschätzten Spitzennachfrage von 1769 Passagieren pro Fahrplanstunde kann ein Verkehrssystem mit DGT/BHLS noch gut tragen. Auch hält DGT/BHLS einem Wachstum von 60% noch knapp stand (mit einem 4-Minuten Takt). Einem Wachstum von über 60% ist hingegen nur das Tram gewachsen, das eine Kapazität von über 3000 Passagieren pro Fahrplanstunde aufweist (bei einem 4-Minutentakt).

4.4.2. Linie 2 Emmenbrücke Sprengi - Luzern Bahnhof (HVZ)

Die folgende Abbildung 9 zeigt die Kapazitätsanalyse der Linie 2 (Sprengi - Luzern Bahnhof) zu den Hauptverkehrszeiten für unterschiedliche Taktfrequenzen und Verkehrswachstumsszenarien.

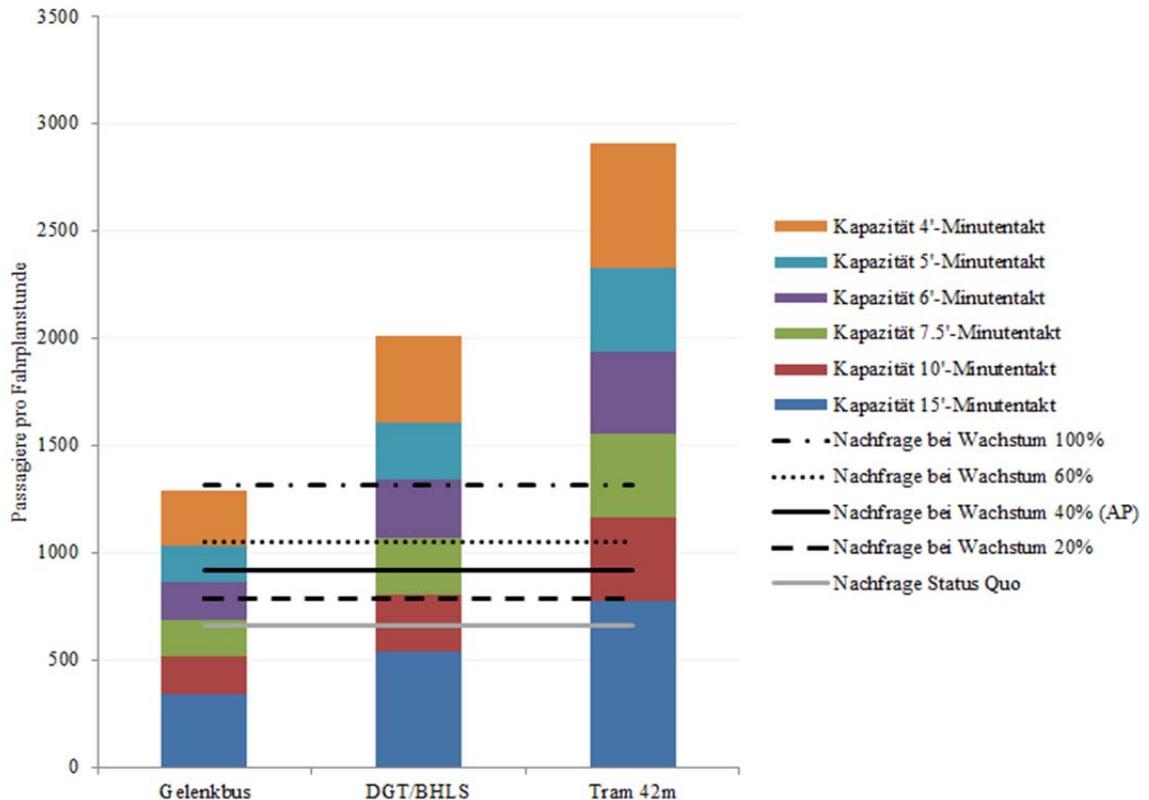


Abbildung 9: Kapazitätsanalyse Linie 2 in der HVZ.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Kapazitätsanalyse der Linie 2 (Emmenbrücke Sprengi - Luzern Bahnhof) zeigt, dass der Gelenkbus bei einem Wachstumszenario von 100% an seine Kapazitätsgrenzen stösst und der geschätzten Spitzennachfrage von 1315 Passagieren pro Fahrplanstunde nicht mehr standhält. Ein Verkehrssystem mit DGT/BHLS hingegen kann eine Verdoppelung der Passagieraufkommen mit einem 5 Minutentakt gut tragen. Das Tram ist für die Linie 2 eher zu überdimensioniert und könnte auf dieser Linie nicht mit einer sinnvollen Taktfrequenz verkehren.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 35/64

4.4.3. Linie 6/8 Hirtenhof - Würzenbach (HVZ)

Die folgende Abbildung zeigt die Kapazitätsanalyse der Linie 6/8 (Hirtenhof - Würzenbach) zu den Hauptverkehrszeiten für unterschiedliche Taktfrequenzen und Verkehrswachstumsszenarien.

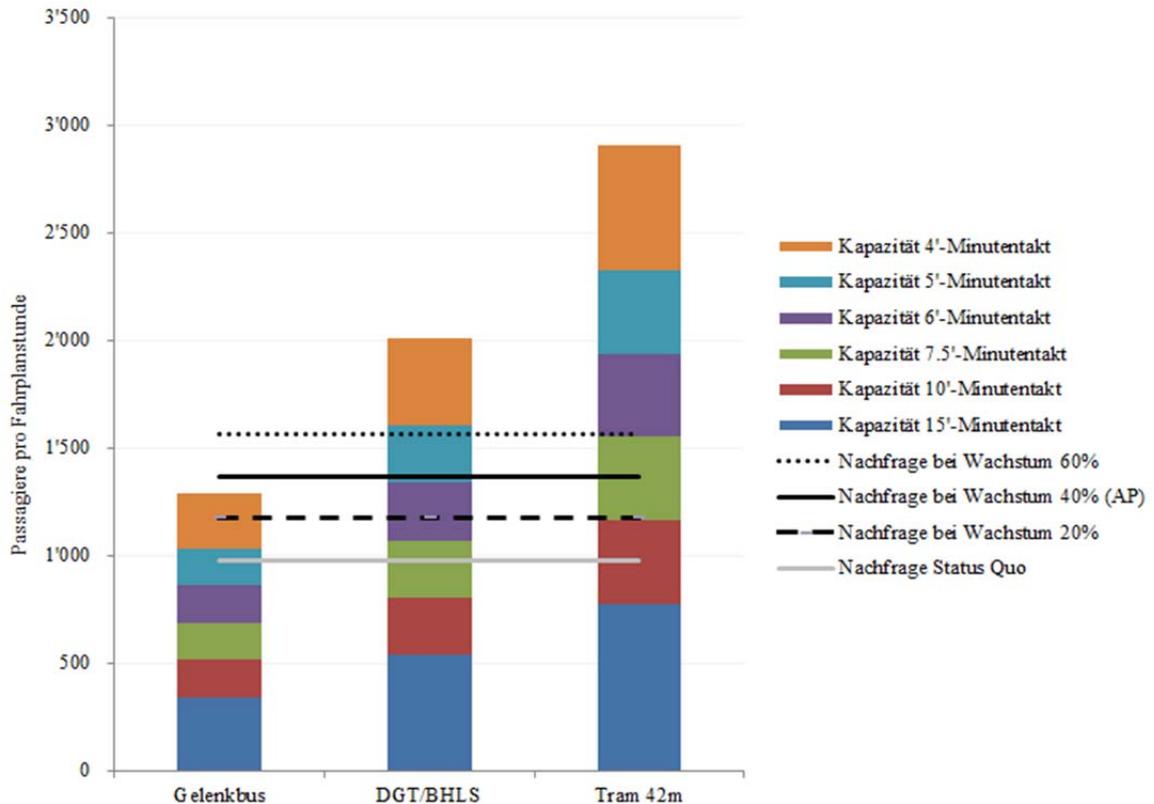


Abbildung 10: Kapazitätsanalyse Linie 6/8 in der HVZ.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Kapazitätsanalyse der Linie 6/8 (Hirtenhof - Würzenbach) zeigt, dass der Gelenkbus bereits bei einem Wachstumszenario von 40% an seine Kapazitätsgrenzen stösst und der geschätzten Spitzennachfrage von 1371 Passagieren pro Fahrplanstunde nicht mehr standhält. Ein 60% Wachstum mit einer geschätzten Spitzennachfrage von 1566 Passagieren pro Fahrplanstunde kann ein Verkehrssystem mit DGT/BHLS noch tragen.

Falls die Linien 8 und 6 weiterhin einzeln geführt werden, so würden Gelenkbusse auch mittelfristig genügend Kapazitäten zur Verfügung stellen.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 36/64

4.4.4. Linie 12 Littau Gasshof - Luzern Bahnhof (HVZ)

Die folgende Abbildung zeigt die Kapazitätsanalyse der Linie 12 (Gasshof - Luzern Bahnhof) zu den Hauptverkehrszeiten für unterschiedliche Taktfrequenzen und Verkehrswachstumsszenarien.

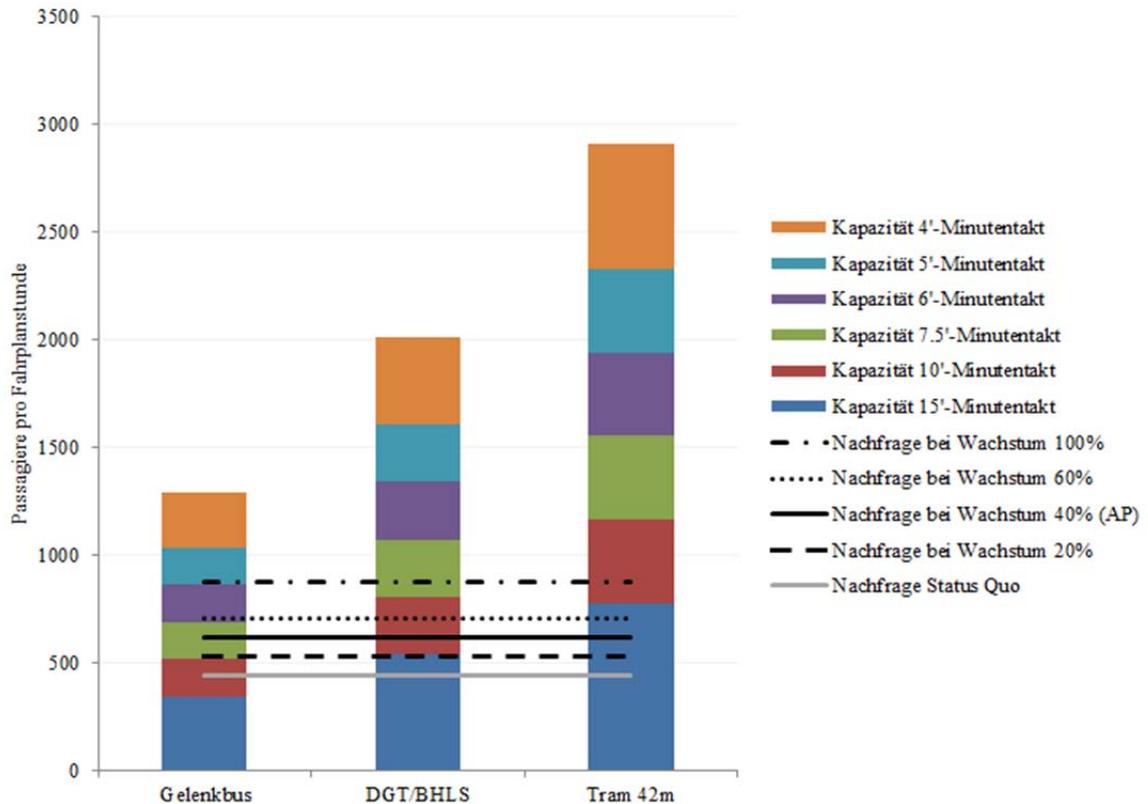


Abbildung 11: Kapazitätsanalyse Linie 12 in der HVZ.

Quelle: Eigene Darstellung

Die Kapazitätsanalyse der Linie 12 (Littau Gasshof - Luzern Bahnhof) zeigt, dass der Gelenkbus auch einem Wachstumsszenario von 100% mit einer geschätzten Spitzennachfrage von 877 Passagieren pro Fahrplanstunde noch gut standhält. Das Tram ist, wie bei der Linie 2, für die Linie 12 eher überdimensioniert und würde auf dieser Linie kaum mit einer hohen Taktfrequenz verkehren.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 37/64

4.4.5. Fazit

Die folgende Tabelle 10 zeigt bei welcher Variante mit welchen Takten in den Stunden der HVZ, NVZ und RVZ bei einem prognostizierten Wachstum von 40% gefahren werden sollte.

Tabelle 10: Empfohlene Takte gemäss Kapazitätsanalyse bei einem Wachstum von 40%.

Strecke	Verkehrssystem	HVZ	NVZ	RVZ
Linie 1	Gelenkbus	> Kapazität ¹¹	> Kapazität	> Kapazität
	DGT/BHLS	4'	7.5'	15'
	Tram 42m	6'	10'	15'
Linie 2	Gelenkbus	5'	10'	15'
	DGT/BHLS	7.5'	10'	15'
	Tram 42m	7.5'	10'	15'
Linie 6/8	Gelenkbus	> Kapazität	> Kapazität	> Kapazität
	DGT/BHLS	5'	10'	15'
	Tram 42m	7.5'	10'	15'
Linie 12	Gelenkbus	7.5'	10'	15'
	DGT/BHLS	7.5'	10'	15'
	Tram 42m	7.5'	10'	15'

Quelle: Eigene Darstellung

Die empfohlenen Takte je Verkehrssystem bilden die Berechnungsgrundlage der Kosten im nächsten Schritt.

4.5. Schritt 3: Vergleich der Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme

Im dritten Schritt werden nun die Investitions- und Betriebskosten der Verkehrssysteme gegenübergestellt. Die folgende Tabelle zeigt die in den folgenden Berechnungen zu Grunde gelegten Daten der vier verschiedenen Verkehrssysteme *Gelenkbus*, *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram* für Luzern.

Tabelle 11: Getroffene Annahmen je Verkehrssystem.

Verkehrssystem	Anteil Eigen-trassierung	Investitionskosten Infrastrukturausbauten pro km in CHF	Betriebskosten pro Fahrzeug-km in CHF	Unterhaltskosten Infrastruktur pro km in CHF
Gelenkbus	0%	-	8.00	50'000
Doppelgelenktrolleybus	0%	-	9.00	50'000
BHLS ¹²	20%	15'000'000	9.00	50'000
Tram 42m	20% ¹³	35'000'000	13.50	75'000

Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf diversen Angaben von Weidmann (2011)

¹¹ Wert nicht ausweisbar, da das entsprechende Verkehrssystem die Passagiernachfrage nicht tragen kann.

¹² Das Verkehrssystem *BHLS* weist dieselbe Kapazität wie der Doppelgelenktrolleybus auf. Die Kapazitätsanalyse für den Doppelgelenktrolleybus gilt auch für das Verkehrssystem *BHLS*.

¹³ Beim Tram wird mit 20% Eigentrassierung gerechnet. Bei der Investition in die Infrastruktur wird allerdings mit Baukosten für die gesamte entsprechende Tramstrecke gerechnet.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 38/64

Die folgenden Tabellen zeigen die Gesamtannuitäten pro Linie pro Wachstumsszenario je Verkehrssystem. Die Gesamtannuitäten zeigen auf, wie hoch die jährlichen Kosten für jedes Verkehrssystem ausfallen. Sie setzen sich aus den jährlichen Betriebskosten, den Unterhaltskosten und den Annuitäten der Investitionskosten zusammen. Das heisst, dass darin die jährlichen Zahlungsströme für Betriebskosten, Unterhaltskosten, Investitionen und Zinskosten enthalten sind.

Die Kosten werden nur ausgewiesen, wenn das entsprechende Verkehrssystem dem Passagieraufkommen gewachsen ist.

4.5.1. Gelenkbus

Tabelle 12: Gesamtannuitäten (in CHF) für Gelenkbus auf dem Kernnetz.

Linie	Investition	Status quo	Wachstum 20%	Wachstum 40%	Wachstum 60%	Wachstum 100%
Linie 1	0	8'798'215	> Kapazität	> Kapazität	> Kapazität	kein Szenario ¹⁴
Linie 2	0	4'590'058	5'059'058	5'293'559	6'198'719	6'198'719
Linie 6/8	0	7'110'525	8'101'983	> Kapazität	> Kapazität	kein Szenario
Linie 12	0	3'942'092	3'942'092	3'942'092	4'181'930	4'421'768
Total	0	20'498'798	> Kapazität	> Kapazität	> Kapazität	kein Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

Der Gelenkbus kann ein Passagierwachstum von 20% auf der Linie 1 bereits nicht mehr tragen. Das bedeutet, dass der Gelenkbus aus den weiteren Analysen ausgeschlossen wird.

4.5.2. Doppelgelenktrolleybus (DGT)

Tabelle 13: Gesamtannuitäten (in CHF) für Doppelgelenktrolleybus auf dem Kernnetz.

Linie	Investition ¹⁵	Status quo	Wachstum 20%	Wachstum 40%	Wachstum 60%	Wachstum 100%
Linie 1	0	7'671'991	8'171'255	9'848'761	9'848'761	kein Szenario
Linie 2	0	5'128'859	5'128'859	5'128'859	5'656'484	5'920'297
Linie 6/8	0	6'798'070	7'375'999	7'953'928	7'953'928	kein Szenario
Linie 12	0	4'407'416	4'407'416	4'407'416	4'407'416	4'407'416
Total	0	24'006'336	25'083'529	27'338'964	27'866'589	kein Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Verkehrssystem mit Doppelgelenktrolleybussen kostet für die vier Linien jährlich ungefähr 27.3 Millionen Schweizer Franken (bei einem Wachstum von 40%).

¹⁴ Wert nicht ausweisbar, da für das entsprechende Verkehrssystem aufgrund der Wachstumsprognosen kein Szenario durchgerechnet wird.

¹⁵ Auch bei der Einführung eines Doppelgelenktrolleybusses würden vermutlich geringe Investitionskosten anfallen, beispielsweise für den Ausbau von Haltestellen oder Verkehrssignale.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 39/64

4.5.3. BHLS

Tabelle 14: Gesamtannuitäten (in CHF) für BHLS auf dem Kernnetz.

Linie	Investition	Status quo	Wachstum 20%	Wachstum 40%	Wachstum 60%	Wachstum 100%
Linie 1	23'631'000	7'671'991	9'110'722	10'961'762	10'961'762	kein Szenario
Linie 2	16'779'000	5'128'859	5'941'259	5'941'259	6'232'130	6'523'000
Linie 6/8	21'798'000	6'798'070	8'334'111	8'974'859	8'974'859	kein Szenario
Linie 12	13'170'000	4'407'416	4'344'440	4'344'440	4'344'440	4'344'440
Total	75'378'000	24'006'336	27'730'532	30'222'320	30'513'190	kein Szenario

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS kostet für die vier Linien jährlich ungefähr 30,2 Millionen Schweizer Franken (bei einem Wachstum von 40% und einer Eigentrossierung von 20%).

4.5.4. Tram 42m

Tabelle 15: Gesamtannuitäten pro Jahr (in CHF) für Tram 42m auf dem Kernnetz.

Linie	Investition	Status quo	Wachstum 20%	Wachstum 40%	Wachstum 60%	Wachstum 100%
Linie 1	275'695'000	24'270'647	24'270'647	25'097'015	25'923'383	27'162'935
Linie 2	195'755'000	17'615'086	17'615'086	17'615'086	17'615'086	17'615'086
Linie 6/8	254'310'000	23'327'137	23'327'137	23'327'137	23'807'698	24'768'819
Linie 12	153'650'000	13'347'883	13'347'883	13'347'883	13'347'883	13'347'883
Total	879'410'000	78'560'754	78'560'754	79'387'121	80'694'050	82'894'723

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Verkehrssystem mit Tram kostet für die vier Linien jährlich ungefähr 79,4 Millionen Schweizer Franken (bei einem Wachstum von 40%).

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 40/64

4.5.5. Fazit

Die folgende Tabelle vergleicht die Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtannuitäten der drei verbleibenden Verkehrssysteme *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram 42m* bei einem prognostizierten Wachstum von 40%.

Tabelle 16: Vergleich der Kosten je Verkehrssystem bei 40% Wachstum.

Strecke	Verkehrssystem	Investition in CHF	Betriebskosten in CHF	Gesamtannuität in CHF
Linie 1	DGT	0	9'848'761	9'848'761
	BHLS	23'631'000	9'756'126	10'961'762
	Tram 42m	275'695'000	11'031'260	25'097'015
Linie 2	DGT	0	5'128'859	5'128'859
	BHLS	16'779'000	5'085'207	5'941'259
	Tram 42m	195'755'000	7'627'811	17'615'086
Linie 6/8	DGT	0	7'953'928	7'953'928
	BHLS	21'798'000	7'862'741	8'974'859
	Tram 42m	254'310'000	10'352'429	23'327'137
Linie 12	DGT	0	4'407'416	4'407'416
	BHLS	13'170'000	3'672'516	4'344'440
	Tram 42m	153'650'000	5'508'774	13'347'883
Total	DGT	0	27'338'964	27'338'964
	BHLS	75'378'000	26'376'590	30'222'320
	Tram 42m	879'410'000	34'520'275	79'387'121

Quelle: Eigene Darstellung

Ein Verkehrssystem mit Doppelgelenktrolleybussen ist bezogen auf die Gesamtannuitäten leicht günstiger als ein Verkehrssystem mit BHLS, weil der Doppelgelenktrolleybus keine Investition in den Aufbau des Netzes braucht. Anders sieht es in Bezug auf die Betriebskosten aus. Beim BHLS sind die Betriebskosten mit 26.4 Mio. Schweizer Franken leicht tiefer als beim Doppelgelenktrolleybus, dies aufgrund der höheren Geschwindigkeit des BHLS-Systems und den dadurch eingesparten Fahrzeugen. Das Tram ist mit jährlichen Gesamtannuitäten von 79.4 Mio. Schweizer Franken, respektive 34.5 Mio. Schweizer Franken Betriebskosten das teuerste Verkehrssystem unter den drei untersuchten. Der Grund dafür ist, dass beim Tram gegenüber BHLS mit zehnfach höheren Investitionskosten in die Infrastruktur gerechnet werden muss (in den Gesamtannuitäten berücksichtigt).

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 41/64

Exkurs 1: Kostensituation bei einem Trambetrieb nur auf der Linie 1

Die folgende Tabelle zeigt, dass bei einem Trambetrieb ausschliesslich für die Linie 1 zusätzlich hohe Betriebskosten für die notwendigen Mindestreserven bei den Fahrzeugen entstehen würden.

Tabelle 17: Kostensituation Trambetrieb nur auf Linie 1 (bei 40% Wachstum).

Strecke	Investition in CHF	Zuschlag für überschüssige Reserven pro Jahr	Gesamtannuität in CHF
Linie 1 nur Tram	275'695'000	783'036	25'880'052

Quelle: eigene Darstellung

Bei einem ausschliesslichen Trambetrieb auf der Linie 1 würde bei einem prognostizierten Wachstum von 40% ein jährlicher Zuschlag für überzählige Reserven von CHF 780'000 (Anteil grösser als 15%) entstehen. Zusätzlich würden sprungfixe Kosten entstehen für ein Tramdepot, sowie Transaktionskosten im Unterhalt und der Beschaffung. Aufgrund dieser hohen Kosten für zumeist unproduktives Rollmaterial und den hohen sprungfixen Kosten für Tramdepot und Know-how ist deshalb von einer Realisierung eines Tramsystems auf nur einer Linie klar abzuraten.

Exkurs 2: Einnahmen verschiedener Verkehrssysteme

In der gewählten Methodik werden die Kapazitäten, die Kosten und die Nutzen der in Frage kommenden Verkehrssysteme detailliert untersucht. Damit wird allerdings eine weitere wichtige Grösse vernachlässigt, nämlich die Einnahmen. Diese werden deshalb hier diskutiert. Für die Berechnungen wird von durchschnittlichen Fahrgeldeinnahmen von 94 Rappen pro Einsteiger ausgegangen (gemäss mündlicher Auskunft der vbl). Betrachtet man die Linien des Kernnetzes, so fällt auf dass bei einem Fahrgastwachstum von 20% jeweils rund 5 Millionen mehr Einnahmen durch Billetverkäufe möglich sind (vgl. unten stehende Tabelle; Werbung etc. ist hier noch nicht eingerechnet).

Tabelle 18: Einnahmen auf dem Kernnetz mit Wachstum 20% bis 60%

	Einnahmen
Status Quo	SFr. 22'661'894
20% Wachstum	SFr. 27'194'273
40% Wachstum	SFr. 31'726'652'
60% Wachstum	SFr. 36'259'031

Quelle: eigene Berechnungen

Bei einem Fahrgastzuwachs von 40% darf also mit Einnahmen in der Höhe von rund 31 Mio. Franken gerechnet werden, was Mehreinnahmen von rund 9 Mio. Franken bedeutet. Gleichzeitig steigen bei einem Wachstum auch die Kosten.

Die Bilanz von Kosten und Einnahmen sind aus der folgenden Tabelle zu entnehmen. Sie zeigt damit den Abgeltungsbedarf für verschiedene Wachstumsszenarien und Verkehrsmittel auf. Daraus wird ersichtlich, dass die beiden untersuchten Bussysteme bereits ab einem Wachstum von 20% auf den Linien des Kernnetzes mit einem Gewinn betrieben werden können. Im Gegensatz dazu bleibt bei einem Tramsystem in dieser Vollkostenbetrachtung auch bei einem Wachstum von 60% noch ein sehr hoher Abgeltungsbedarf.

Tabelle 19: Abgeltungsbedarf für das Kernnetz mit Wachstum 20%-60% (Vollkosten)

	Doppelgelenktrolley	BHLS	Tram 42m
Status Quo	-SFr. 1'698'216	-SFr. 1'698'216	-SFr. 56'252'633
20% Wachstum	SFr. 1'686'216	-SFr. 960'787	-SFr. 51'791'008
40% Wachstum	SFr. 3'892'405	SFr. 1'009'049	-SFr. 48'155'752
60% Wachstum	SFr. 7'826'404	SFr. 5'179'803	-SFr. 45'001'057

Quelle: eigene Berechnungen

Diese Angaben beziehen sich nur auf die betrieblichen Vollkosten der vier Linien des Kernnetzes und schliessen damit Verwaltungskosten sowie die kleineren Linien von der Betrachtung aus. In der Betrachtung enthalten sind allerdings die Investitionskosten für die drei Verkehrssysteme.

Ein etwas anderes Bild zeigt sich, wenn anstelle der Vollkosten nur die Betriebskosten betrachtet werden. Im Schweizer Kontext scheint eine solche Betrachtung relativ realistisch, weil in den meisten Grossprojekten eine Investition durch die öffentliche Hand realisiert und finanziert wird, während das beauftragte Transportunternehmen nur für Betrieb und Unterhalt zuständig ist. In dieser Perspektive können bei einem Wachstum von 40% die beiden Bussysteme klar gewinnbringend betrieben werden; für ein Tramsystem wäre eine Abgeltung von rund CHF 2,8Mio. notwendig.

Tabelle 20: Abgeltungsbedarf für das Kernnetz mit Wachstum 20%-60% (Betriebskosten)

	Doppelgelenktrolley	BHLS	Tram 42m
Status Quo	-SFr. 1'344'442	-SFr. 351'622	-SFr. 11'032'013
20% Wachstum	SFr. 2'110'744	SFr. 3'309'471	-SFr. 6'499'634
40% Wachstum	SFr. 4'387'688	SFr. 5'350'062	-SFr. 2'793'623
60% Wachstum	SFr. 8'392'441	SFr. 9'591'570	SFr. 431'827

Quelle: eigene Berechnungen

4.6. Schritt 4: Vergleich der Nutzen auf den Linien des Kernnetzes

Die folgende Tabelle zeigt die Rangfolge der drei bewerteten Verkehrssysteme pro Nutzenkriterium. Es werden Total pro Nutzenkriterium 6 Rangpunkte vergeben. Die beste Bewertung pro Nutzenkriterium erhält 1, die tiefste 3 Rangpunkte. Bei zwei ersten Rängen erhalten beide Verkehrssysteme 1.5 Rangpunkte. Die Nutzenkriterien sind in Kapitel 3.4 beschrieben.

Tabelle 21: Rangfolge der Verkehrssysteme pro Nutzenkriterium (Ränge 1 bis 3).

Nutzenkriterien	DGT	BHLS	Tram 42m	Begründung
	Rang	Rang	Rang	
Geschwindigkeit	3	1.5	1.5	Dank der Eigentrassierung kann für BHLS und Tram in Luzern ein Geschwindigkeitszuschlag von 10% erwartet werden (vgl. Kapitel 4.2).
Zuverlässigkeit	3	2	1	Das Tram hat im Gegensatz zu den pneugebundenen Systemen in Bezug auf die Zuverlässigkeit aufgrund der Eigentrassierung und des langen Bremsweges mit weniger Verkehrsbehinderungen zu rechnen. BHLS hat dank seiner Eigentrassierung mit eigenen Busspuren einen Vorteil gegenüber dem DGT (vgl. Kapitel 3.3).
Takt	1.5	1.5	3	Der Mittelwert der Takte in der HVZ über alle vier untersuchten Linienabschnitte (vgl. Kapitel 4.4.5) sieht für die drei Verkehrssysteme bei einem 40%-Wachstum folgendermassen aus: <ul style="list-style-type: none"> • DGT: Ø Takt von 6' • BHLS: Ø Takt von 6' • Tram 42m: Ø Takt von 7.12' Ein tiefer Wert bedeutet einen höheren Takt.
Potentiale für städtebauliche Aufwertung	3	2	1	Das Tram hat am meisten Potentiale für eine städtebauliche Aufwertung (vgl. Kapitel 3.4). Dieses Kriterium bewertet den volkswirtschaftlichen Nutzen für die Bevölkerung.
Potential zusätzliche Fahrgäste	3	2	1	Grosse Veränderungen/Optimierung des Verkehrssystems, wie sie mit dem Trambau üblich sind, bedeutet mehr öffentliche Aufmerksamkeit. Die Neugier und der Willen steigen, auf das neue Verkehrssystem umzusteigen. Eine Trameinführung hätte in Luzern vermutlich die grösste Aufmerksamkeit (vgl. Kapitel 3.4.).
Flexibilität	1	2	3	Der Doppelgelenktrolleybus kann auch auf allen Teilstücken des Netzes eingesetzt werden. Das Tram bloss auf dem dafür vorgesehenen Teilstück

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 44/64

Die folgende Tabelle zeigt die Gewichtung der Nutzenkriterien für Luzern

Tabelle 22: Gewichtung der Nutzenkriterien (Gewichtung von 1 bis 3).

Nutzenkriterien	Gewichtung	Begründung
Geschwindigkeit	3	Die Geschwindigkeit ist ein entscheidendes Qualitätskriterium öffentlicher Verkehrssysteme (vgl. Kapitel 3.4) und wird darum mit 3 gewichtet.
Zuverlässigkeit	3	Eine hohe Zuverlässigkeit steigert die Akzeptanz eines Verkehrssystems und gehört darum zu den wichtigsten Nutzenfaktoren (Gewichtung 3).
Takt	2	Aus Fahrgastsicht ist ein möglichst hoher Takt erwünscht, weil sich dadurch die mittlere Wartezeit verkürzt (vgl. Kapitel 3.4). Da in einem dichten Gebiet wie Luzern die Passagiere mit einem relativ hohen minimalen Takt von 7.5' Minuten in der HVZ, 10' in der NVZ und 15' in der RVZ (vgl. Kapitel 4.2) bedient werden, wird dieses Kriterium mit einer Gewichtung von 2 (und nicht 3) bewertet.
Potentiale für städtebauliche Aufwertung	2	In verschiedenen Studien wurde nachgewiesen, dass eine gute Erschliessung eines Gebietes mit einem öffentlichen Verkehrssystem dieses städtebaulich aufwertet (vgl. Kapitel 3.4). Wie hoch dieses Potential ist, ist allerdings schwierig im Vornherein abschätzbar und wird darum mit 2 (und nicht 3) gewichtet.
Potential zusätzlicher Fahrgäste	1	Attraktive Verkehrssysteme haben tendenziell ein Potential für zusätzliche Fahrgäste. In der Schweiz ist allerdings bereits das Ausgangsniveau sehr hoch, so dass auch bei einem sehr guten neuen System nur beschränkte Fahrgaststeigerungen erwartet werden dürfen (vgl. Kapitel 3.4). Darum wird das Potential zusätzlicher Fahrgäste nur mit 1 gewichtet.
Flexibilität	1	Aus Betreibersicht ist der flexible Einsatz der Fahrzeuge wichtig. Bei einem relativ grossen Netz wie dem der VBL, können allerdings die Fahrzeuge relativ flexibel eingesetzt werden. Des Weiteren wird ein kein Verkehrssystem für nur eine Linie eingesetzt (vgl. Kapitel 4.2). Die Flexibilität wird mit 1 gewichtet.

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 45/64

Die folgende Tabelle zeigt die Nutzenanalyse pro Verkehrssystem.

Tabelle 23: Gewichtete Rangsumme (tiefe Rangsumme = bestes Resultat)

Nutzenkriterien	DGT	BHLS	Tram 42m
Geschwindigkeit	9	4.5	4.5
Zuverlässigkeit	9	6	3
Takt	3	3	6
Potentiale für städtebauliche Aufwertung	6	4	2
Potential zusätzliche Fahrgäste	3	2	1
Flexibilität	1	2	3
Rangsumme	31	21.5	19.5

Quelle: Eigene Darstellung

Bezogen auf den Nutzen schneidet also ein Verkehrssystem mit Trams mit 19.5 Rangpunkten am besten ab. Zweitplatziert mit 21.5 Rangpunkten ist ein Verkehrssystem mit BHLS. Das Verkehrssystem mit Doppelgelenktrolleybussen schneidet von den drei untersuchten Verkehrssystemen mit 31 Rangpunkten am schlechtesten ab. Bei diesen Zahlen ist zu beachten, dass es sich nur um Verhältnisse zwischen den Verkehrssystemen handelt. Eine quantitative Interpretation (z.B. dass 20 Punkte einem zusätzlichen Nutzen von 50% gegenüber 30 Punkten entspricht) ist damit unzulässig.

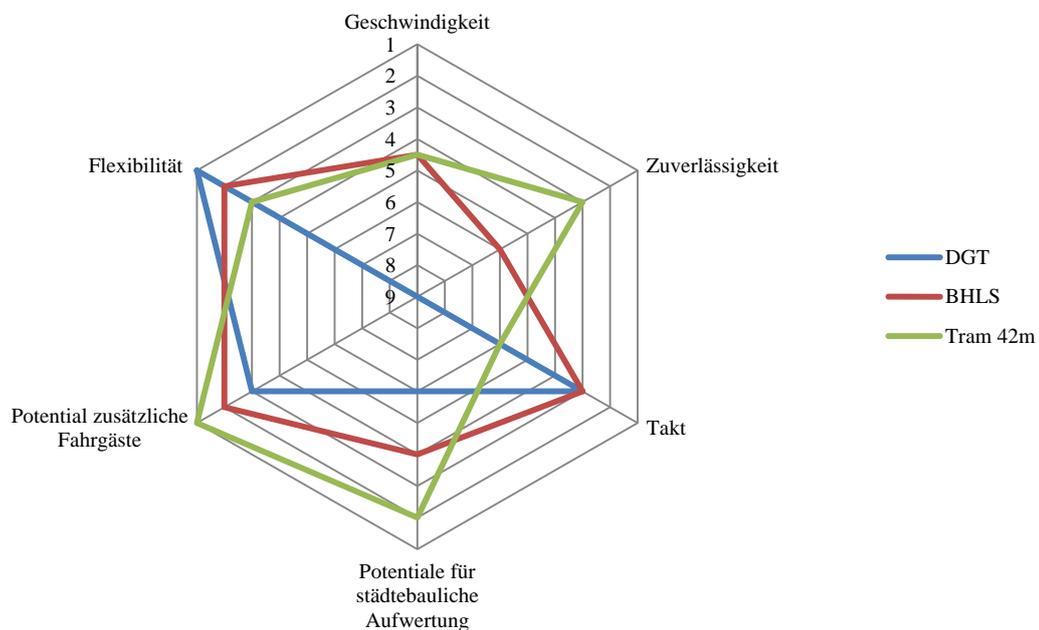


Abbildung 12: Gewichtete Ränge der Verkehrssysteme pro Nutzendimension.

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 46/64

Allerdings ist das Tram aufgrund der hohen Investitionskosten im Vergleich zu den anderen zwei Verkehrssystemen teuer. Deshalb schneidet es in der unten folgenden Kosten-Wirksamkeitsanalyse von den drei näher untersuchten Verkehrssystemen auch am schlechtesten ab.

4.7. Schritt 5: Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten (Kosten-Wirksamkeits-Analyse)

Die folgende Tabelle 24 zeigt die Kosten-Wirksamkeits-Quotienten für die betrachteten Verkehrssysteme aufgrund der Wachstumsprognose mit 40%. Da bei einem Wachstum von 40% ein Verkehrssystem mit Gelenkbussen aufgrund der mangelnden Kapazität auf Linie 1 nicht in Frage kommt (vgl. Kapitel 4.4.1), wird dieses Verkehrssystem nicht bewertet. Um die drei Verkehrssysteme *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram 42m* zu vergleichen wird der Nutzen in Relation zu den Kosten gestellt.

Tabelle 24: Kosten-Wirksamkeitsanalyse der drei Verkehrssysteme.

			DGT	BHLS	Tram 42m
	Betriebskosten pro Jahr	in Mio.	27.3	26.4	34.5
Kosten in CHF (40% Wachstum)	Investitionskosten	in Mio.	0	75.4	879.4
	Gesamtannuitäten pro Jahr	in Mio.	27.3	30.2	79.4
			Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)
Wirksamkeit	Geschwindigkeit		9	4.5	4.5
	Zuverlässigkeit		9	6	3
	Takt		3	3	6
	Städtebauliche Aufwertung		6	4	2
	Potential zusätzliche Fahrgäste		3	2	1
	Flexibilität		1	2	3
	Rangsumme		31	21.5	19.5
Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis	in Bezug auf Betriebskosten <i>Wirksamkeit / Betriebskosten</i>		846.3	567.6	672.8
	Rang		3	1	2
Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis	in Bezug auf Investitionen <i>Wirksamkeit / Investitionen</i>		0.0	1621.1	17148.3
	Rang		1	2	3
Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis	in Bezug auf Gesamtannuitäten <i>Wirksamkeit / Gesamtannuitäten</i>		846.3	649.3	1548.3
	Rang		2	1	3

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 47/64

Wird die Wirksamkeit der Verkehrssysteme in Relation zu den Betriebskosten gestellt, schneidet das Verkehrssystem mit BHLS, gefolgt vom Tramsystem am besten ab. In Bezug auf die Investitionen sieht es anders aus. Dort erhält das Verkehrssystem mit Doppelgelenktrolleybussen, welches keine Investitionskosten ins Netz benötigt, die besten Noten. Das Tram liegt trotz des hohen Nutzens aufgrund der hohen Investitionskosten auf Rang 3. Bei der Wirksamkeit des Verkehrssystems in Relation zu den Gesamtannuitäten, schneidet ein System mit BHLS, gefolgt von einem System mit Doppelgelenktrolleybussen am besten ab.

Bei der gesamten Kosten-Wirksamkeitsanalyse schneidet ein Verkehrssystem mit BHLS mit zwei ersten und einem zweiten Rang am besten ab.

4.8. Fazit und Interpretation der Resultate

Die Evaluation des passenden Verkehrssystems für die Agglomeration Luzern hat im ersten Schritt gezeigt, dass U-Bahn und Stadtbahn für Luzern aufgrund der Siedlungsdichte und -grösse in naher bis mittlerer Zukunft nicht in Frage kommen. Einem prognostizierten Wachstum von 20% bis ins Jahr 2030 ist ein Verkehrssystem mit Gelenkbussen auf der Linie 1 und der Linie 6/8 bereits nicht mehr gewachsen. Es wurde darum aus den weiteren Analysen ausgeschlossen. In der Folge wurden nur die verbleibenden Verkehrssysteme *Doppelgelenktrolleybus*, *BHLS* und *Tram* evaluiert. Die Resultate der Kosten-Wirksamkeitsanalyse haben gezeigt, dass ein BHLS für die nahe Zukunft für die Situation in der Agglomeration Luzern die am besten geeignete Variante ist. Die folgende Abbildung stellt die Kosten-Wirksamkeitsanalyse bezogen auf die Gesamtannuitäten dar (inkl. Gewichtung des Nutzens).

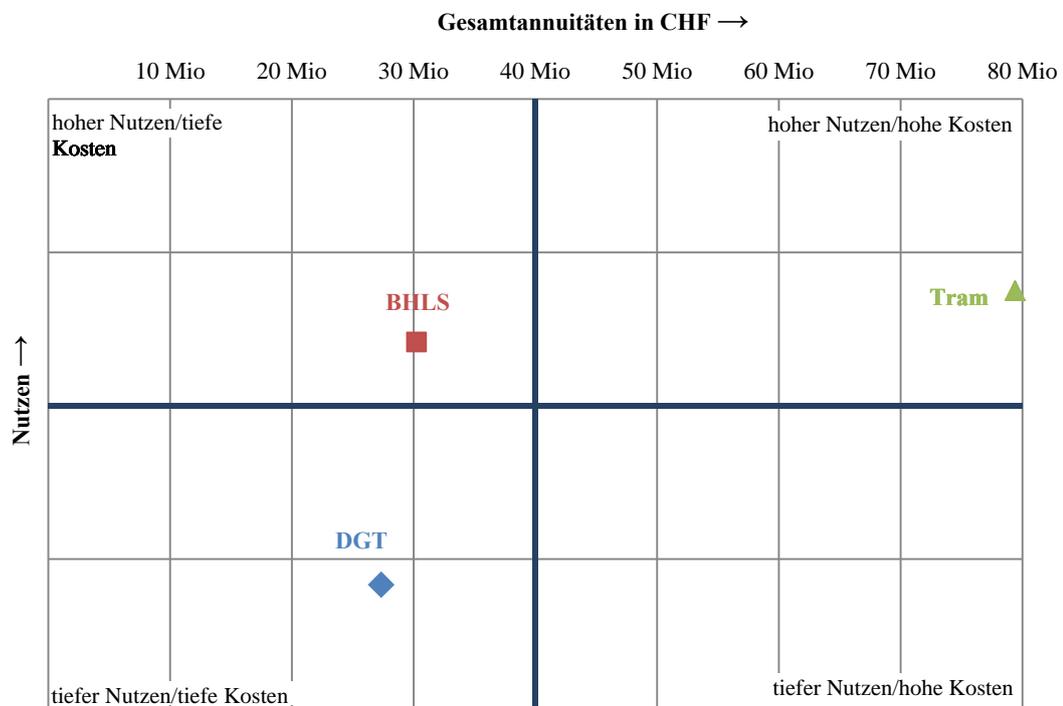


Abbildung 13: Kosten-Wirksamkeitsanalyse bezogen auf die Gesamtannuitäten.

Quelle: Eigene Darstellung

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 48/64

Aus der Grafik lässt sich entnehmen, dass ein BHLS in Luzern einen hohen Nutzen bei gleichzeitig moderaten Gesamtkosten bringt. Das in Luzern geplante Verkehrssystem mit BHLS ist also zum jetzigen Zeitpunkt eine vernünftige und kostengünstige Variante. Untersuchungen in anderen europäischen Städten bestätigen, dass BHLS in verschiedenen Kontexten und politischen Situationen für eine Aufwertung des öffentlichen Verkehrs gut geeignet ist (Finn et al., 2011, S. 114).

Allerdings könnte auch die Perspektive eingenommen werden, dass die Investitionen in die Infrastruktur nach dem Bau direkt abgeschrieben und nicht in den Betrieb eingerechnet werden, also nur Betriebskosten mit einander verglichen werden (vgl. Exkurs 2 oben). Dies ist durchaus realistisch und geschieht in der Schweiz aus betrieblicher Sicht dann, wenn die öffentliche Hand die Investitionskosten bezahlt. Werden die Investitionen also als sogenannte *Sunk Costs*¹⁶ betrachtet, schneidet ein Tramsystem nur noch geringfügig schlechter als ein BHLS-System ab. Bei der Beurteilung von Kosten und Nutzen verschiedener Systeme kommt der Betrachtung der Kosten demnach eine zentrale Rolle zu. Die folgende Abbildung zeigt die Kosten-Wirksamkeitsanalyse in Bezug auf die Betriebskosten (vgl. Abbildung 14).

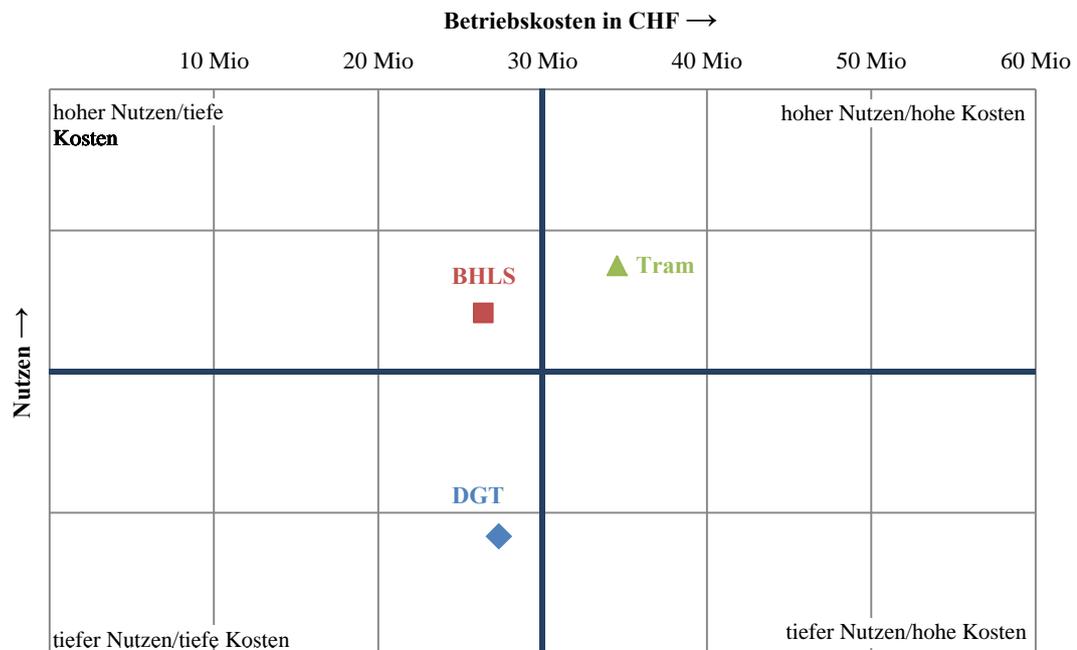


Abbildung 14: Kosten-Wirksamkeitsanalyse bezogen auf die Betriebskosten.

Quelle: Eigene Darstellung

Um die Ergebnisse der Kosten-Wirksamkeitsanalyse zu bestätigen, wurden drei Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Diese zeigen, dass auch bei einer stärkeren Gewichtung der Nutzenkriterien zu Gunsten des Trams oder des DGT, respektive einer Abschwächung der nicht zwingend voraussehbaren Nutzeneffekte beim BHLS (städtebauliche Aufwertung, Geschwindigkeit und Potential für zusätzliche Fahrgäste), ein Verkehrssystem mit BHLS relativ gesehen am besten abschneidet (vgl.

¹⁶ Sunk Costs sind Kosten, die bereits angefallen sind und nicht mehr beeinflusst werden können. Beispielsweise aufgrund eines Volksentscheides.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 49/64

detaillierte Dokumentation in Anhang 2). Für die aktuellen Annahmen sind die Resultate sowohl der Kosten als auch der Nutzen weitgehend als solide zu betrachten.

Das Resultat zu Gunsten eines BHLS hat neben der Betrachtung der Kosten und auch wesentlich mit dem gewählten Investitionshorizont zu tun. Wenn von einem kontinuierlichen Wachstum ausgegangen wird (und das ist in allen bekannten Verkehrsprognosen der Fall), so wird auch ein Verkehrssystem mit BHLS oder DGT in absehbarer Zeit an seine Kapazitätsgrenzen stossen, mindestens zur Hauptverkehrszeit auf der Linie 1 (vgl. Kapitel 4.4.5). Es stellt sich dann lediglich die Frage, wann dieser Zeitpunkt eintritt.

Den Berechnungen in diesem Bericht wurde (wo nicht anders deklariert) ein Wachstum von 40% der Nachfrage auf den betrachteten Linien zu Grunde gelegt. Dies könnte mit einem BHLS noch knapp bis 2030 bedient werden. In einem Zeitraum von 15-25 Jahren wird sich also die Diskussion über ein Tram in der Agglomeration Luzern wieder ergeben. Ein schnelleres Wachstum als erwartet oder ein starker politischer Wille (z.B. zu Gunsten von Modal Split-Veränderungen oder einer städtebaulichen Aufwertung) könnten diese Diskussion allerdings schon früher mit sich bringen.

5. Empfehlungen für die Implementierung in der Agglomeration Luzern

Das folgende Kapitel zeigt Empfehlungen für die Einführung eines BHLS-System in der Agglomeration Luzern auf. Die Empfehlungen stammen grösstenteils aus Erfahrungsberichten von BRT-Einführungen in anderen Städten (Finn et al., 2011; Sorg, 2012). Die Erfahrungen mit BRT lassen sich allerdings durchaus auf die Einführung eines BHLS-Verkehrssystems übertragen. Die Empfehlungen werden in die Bereiche *Organisation*, *Technik* und *Kommunikation* eingeteilt.

5.1. Organisation

1. *Infrastruktur:*

Wichtig ist, dass die (potenziellen) Fahrgäste schrittweise eine spürbare Angebotsverbesserung wahrnehmen, und zwar insbesondere bei Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Fahrplan. Dies bedeutet, dass auf den Ausbau der Infrastruktur grosses Gewicht gelegt werden muss. Ansonsten droht die Gefahr, dass die Fahrgäste über das neue Verkehrssystem zunächst enttäuscht sind (Sorg, 2012, S. 14; Finn et al., 2011, S. 123). Langfristig betrachtet ist es allerdings bei der Einführung eines neuen Verkehrssystems weniger entscheidend, ob sie schrittweise oder auf einmal stattfindet. Beide Strategien können erfolgreich sein (Kleinheit, 2011).

2. *Differenzierungen Markt:*

Eine wichtige Herausforderung bei der Einführung eines BHLS-Systems besteht darin, die Neuerung gegenüber einem konventionellen Bussystem überhaupt erkennbar zu machen. Dies ist eine Voraussetzung dafür, dass das System überhaupt als Erfolg wahrgenommen werden kann. Bei wenig sichtbaren Eingriffen in die Infrastruktur kann diesem Aspekt dadurch Rechnung getragen werden, dass gleichzeitig ein sichtbarer Ausbau von Einrichtungen für Fussgänger und nicht motorisierten Verkehr vorgenommen wird. Das neue Bussystem wird so zum Bestandteil einer allgemeinen Weiterentwicklung des Mobilitätsangebots (Sorg 2012).

3. *Evaluation:*

Der Erfolg bzw. Misserfolg der geplanten Einführung eines BHLS ist periodisch einer Evaluation zu unterziehen. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Schlüsselkriterien eines BHLS (Frequenz, Kapazität, Pünktlichkeit und Reisezeit) und die Wahrnehmung des neuen Systems zu legen. Ein entsprechender Vorschlag, der auf der vorhandenen Kundebefragung aufbaut, findet sich im Anhang 3.

4. *Projektteam:*

Für die Einführung eines neuen Verkehrssystems ist ein eigens dafür zusammen gestelltes Projektteam von grossem Vorteil.

5. *Weitere Linien:*

Es sollte kontinuierlich bzw. periodisch geprüft werden, ob ein BHLS auf weiteren Linien im Raum Luzern eingeführt werden soll.

5.2. Technik

6. *Aufwertung öffentlicher Raum:*

Günstige Zeitfenster für eine Aufwertung von öffentlichem Raum sind selten und sollten deshalb unbedingt genutzt werden. Die Einführung von BHLS stellt in diesem Bereich eine grosse Chance dar und sollte entlang des Korridors angepackt werden (Finn et al., 2011, S. 106ff.).

7. *Mehrwert Fahrzeuge:*

Es sollte geprüft werden, inwiefern den Fahrgästen in den neuen Fahrzeuge Mehrwerte wie W-Lan oder Steckdosen angeboten werden können (z.B. gratis W-Lan in Trams der BVB). Diese Mehrwerte können ein BHLS vom übrigen Fahrzeugpark abheben und zusammen mit anderen Komfortelementen (z.B. Vollklimatisierung, komfortable Stehplatzzonen) in der Kommunikation entsprechend genutzt werden.

8. *Technisches Know-how:*

Das technische Know-how im Betrieb ist sicherzustellen, da die technischen Voraussetzungen bezüglich Signalisierung und Management der Busspuren häufig über das übliche Kerngeschäft von Transportunternehmungen hinausgehen.

5.3. Kommunikation

9. *Skepsis von Gewerbetreibenden und Immobilienbesitzenden abbauen:*

Die Durchsetzung von Vortrittsrechten und Eigentrassierungen führt häufig zu Widerständen bei Gewerbetreibenden und Immobilienbesitzenden. Hier muss Überzeugungsarbeit geleistet werden. Dabei kann darauf hingewiesen werden, dass die Standortattraktivität nach der Einführung von BRT Systemen in vielen Fällen erheblich zugenommen hat.

10. *Rückhalt politische Entscheidungsträger:*

Veränderungen bei Verkehrsinfrastrukturen sind auch politisch meist umstritten. Der Rückhalt der politischen Entscheidungsträger ist deshalb eine wichtige Voraussetzung bei der Einführung eines BHLS-Systems. Zwingend ist dafür die Einbettung des BHLS-Systems in eine langfristige Mobilitäts- und Verkehrsstrategie (Strategiepapiere wie ÖV-Bericht 2014-2017, Bauprogramm Kantonsstrassen 2015-2018, Mobilitätsstrategie Stadt Luzern, Agglomerationsprogramm 2. Generation) auf allen betroffenen Ebenen.

11. *Marke RBus stärken:*

Die Marke RBus sollte in der Kommunikation beibehalten und gestärkt werden. Die Begriffe BRT und BHLS hingegen sind zu fachspezifisch und sollten möglichst vermieden werden.

12. *MIV miteinbeziehen:*

Es ist wichtig, dass der MIV ebenfalls in die Kommunikation einbezogen wird. Inhalt könnte sein, dass eine Umstellung auf BHLS nicht mit mehr Staus oder Behinderungen verbunden ist, weil der MIV allenfalls durch zusätzliche Umsteiger auf den ÖV sogar entlastet wird.

13. *Proaktive und langfristig geplant kommunizieren:*

Die Kommunikation soll proaktiv und langfristig geplant und durchgeführt werden. Nur so lässt sich die drohende Problematik der rollenden Einführung angemessen erklären und die Kundenzufriedenheit halten. Gelingen kann dies beispielsweise in einer mehrstufigen Informationskampagne, die ein positives Image des neuen Systems prägt. Dafür wiederum braucht es Zeit und Politikerinnen und Politiker, die an das System glauben (Finn et al. 2011, S. 116).

14. *Schwerpunkt auf erstes Teilstück:*

Ein Schwerpunkt muss dabei auf die erfolgreiche Einführung des ersten Teilstückes gelegt werden: wahrnehmbare Verbesserungen gegenüber der Ausgangssituation sind dabei besonders wichtig.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass vor allem die Eigentrossierung, respektive die Umsetzung von Bevorzugungsmassnahmen eine entscheidende Komponente für den Erfolg des geplanten BHLS darstellen. Sie garantieren die grössten Gewinne bezüglich Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit (Heddebaut et al., 2010, S. 310). Die Bevorzugungsmassnahmen für den ÖV im Strassenverkehrsnetz sind entscheidend dafür, dass für die Fahrgäste tatsächlich eine spürbare Verbesserung erfolgt. Die Behörden müssen deshalb auch umstrittene Massnahmen wie eine Priorisierung der Busse an Lichtsignalanlagen oder die Bezeichnung von exklusiven Fahrspuren auf Teilstrecken zulasten des MIV durchsetzen (Sorg, 2012, S. 14ff.). Fehlt dieses Engagement, kann es passieren, dass keine Verbesserung der Zuverlässigkeit oder der Reisegeschwindigkeit erfolgt und eine Umstellung auf BHLS dann trotz hoher Investitionen in neue Fahrzeuge als Misserfolg angesehen wird (Sorg, 2012, S. 14ff; Finn, 2011, S. 123). Es ist also wichtig, dass der politische Wille für eine Verbesserung des ÖV-Systems in der Agglomeration Luzern vorhanden ist.

Diese Empfehlungen beziehen sich auf die (geplante) Einführung eines BHLS-Systems in der Agglomeration Luzern. Weitere Empfehlungen können aufgrund der gesammelten Erfahrungen im Hinblick auf die zukünftige Untersuchung der Verkehrssystemwahl angegeben werden.

5.4. Weitere Untersuchungen

Der vorliegende Bericht untersuchte basierend auf zahlreichen Vorannahmen die Frage, ob ein Busystem mit und ohne Infrastrukturmassnahmen bzw. ein Tramsystem die beste Variante für die Agglomeration Luzern ist. Aufgrund der formulierten Aufgabenstellung wurden diverse Einschränkungen vorgenommen. Eine definitive Verkehrsmittelwahl würde jedoch eine detaillierte Untersuchung weiterer Elemente erfordern. Folgende Punkte wären darin besonders zu bearbeiten.

- Im vorliegenden Bericht fehlen Überlegungen zur Netzentwicklung und Betrachtungen auf der Ebene Korridor (es wurden nur einzelne Linien untersucht). Diese sind jedoch insbesondere im Stadtzentrum wichtig, weil sie eventuell auch Effekte auf das weitere Netz hätten. So könnte beispielsweise die Einführung einer neuen Linie mit sehr hohen Kapazitäten auf einer anderen Linie im gleichen Korridor eine Ausdünnung des Fahrplans und somit eine Kosteneinsparung ermöglichen.
- Die Entwicklung der Siedlung bzw. das vorhandene Potenzial für Büroflächen und Wohnungen kann auf die Planung eines Verkehrssystems einen grossen Einfluss haben. Deshalb empfehlen sich auch hier weiterführende Analysen.
- Die Nutzen, die aus einer städtebaulichen Aufwertung durch ein Tramsystem entstehen können, sind beträchtlich und können einen wichtigen Einfluss auf die Systemwahl haben. Eine volkswirtschaftliche Betrachtung drängt sich deshalb in einer zukünftigen Untersuchung auf.
- Auch finanzpolitische Überlegungen fehlen im vorliegenden Bericht. Beispielsweise könnte basierend auf der Erfahrung bei anderen Agglomerationsprogrammen abgeschätzt werden, welchen Kostenanteil der Bund übernimmt.
- Der mögliche Einfluss der Systemwahl auf die Nachfrage und damit die Einnahmensituation müsste in einer weiteren Untersuchung vertieft werden.
- Der Einfluss der untersuchten Verkehrssysteme auf den motorisierten Individualverkehr wurde nicht berücksichtigt und müsste in einer detaillierten Studie mit einfließen.

6. Potential für BHLS in weiteren Schweizer Städten

Für Luzern hat sich gezeigt, dass ein Verkehrssystem mit BHLS eine kostengünstige Alternative zum Tram sein kann. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, welche weiteren Agglomerationen allenfalls auch Potential für BHLS aufweisen.

Die Wahl der richtigen Verkehrsmittelsysteme ist von zahlreichen Faktoren abhängig, wie beispielsweise Topographie, Lage zu anderen Agglomerationen, Verkehrsraumstrukturen usw. (Weidmann et al., 2011, S. 139). Am wichtigsten für die Entscheidungsfindung bleibt aber letztlich die Einwohnerzahl. Die folgende Abbildung zeigt die Einsatzbereiche von primären ÖV-Systemen in Abhängigkeit der Siedlungsdichte (ohne Zürich).

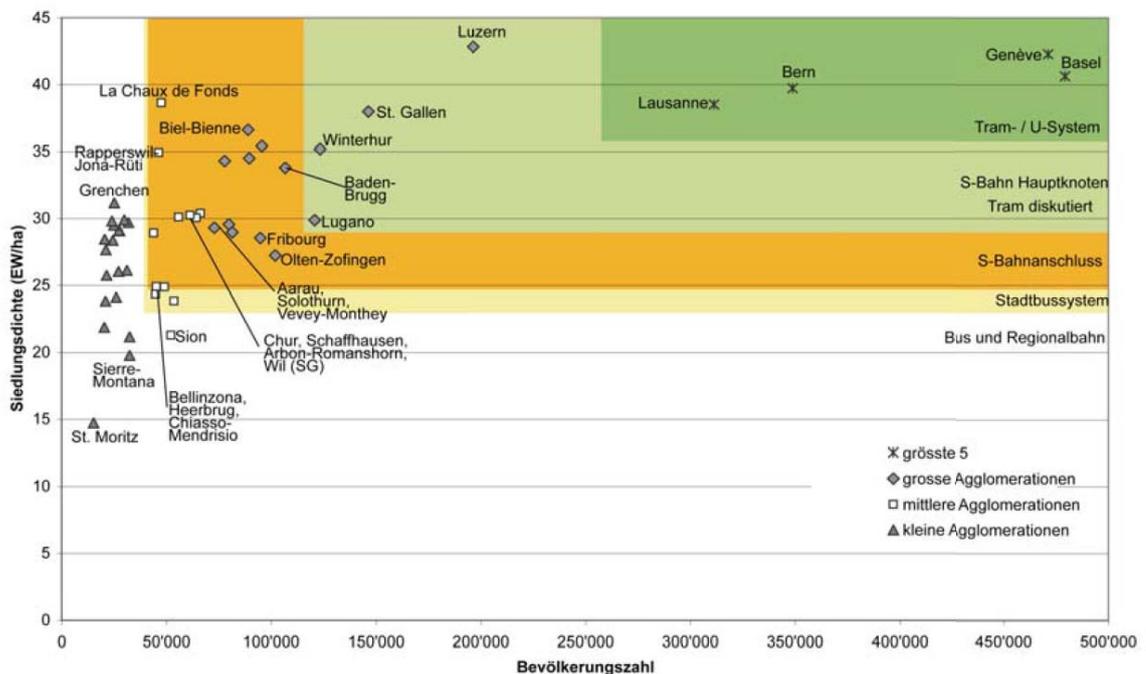


Abbildung 15: Einsatzbereiche von primären ÖV-Systemen in Abhängigkeit der Siedlungsdichte
Quelle: Weidmann et al., 2011, S. 140

Neben Luzern weisen St. Gallen, Winterthur und Lugano aufgrund der Siedlungsdichte ein Potential für ein Tramsystem auf. Insbesondere in diesen drei Agglomerationen sollte der Einsatz eines BHLS-Systems als kurz- oder mittelfristige Alternative zum Tram geprüft werden. Als weitere Agglomerationen kommen Lugano, Zug, Fribourg, Biel sowie das Limmattal in Frage, weil diese bereits heute Linien mit relativ hohem Passagieraufkommen aufweisen.

Im Folgenden wird die aktuelle Situation in den Agglomerationen Lausanne, St. Gallen, Winterthur, Lugano, Zug, Fribourg und Biel beschrieben. Es sind alles Agglomerationen, die Buslinien aufweisen, die mehr als vier Millionen Einsteiger pro Jahr aufweisen. Dieser Schwellenwert wurde gewählt, weil die Analyse der Linie 2 in Luzern mit knapp vier Millionen Einsteigern gezeigt hat, dass mit einem Passagierzuwachs von 60% ein Verkehrssystem mit Gelenkbussen in den Spitzenzeiten an Werktagen an seine Grenzen stösst. Zumindest sollte bei der Einführung von Doppelgelenkbussen auch ein Verkehrssystem mit BHLS in Betracht gezogen werden.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 54/64

6.1. Lausanne

Ein für Vergleiche mit Luzern interessantes Beispiel ist Lausanne. Hier befindet sich aktuell eine neue Tramlinie in Umsetzung. Die Streckenführung der neuen Trambahn läuft in einer ersten Etappe über 4,6km vom Bahnhof von Renens bis Lausanne Bahnhof (s. Karte unten). Dabei wird explizit die Strategie einer städtebaulichen Aufwertung verfolgt. Anschliessend ist eine Verlängerung bis in den Vorort Villars-Ste-Croix geplant. Ergänzt wird das Tram durch ein leistungsfähiges BHLS-Netz, das sogar so heisst (BHNS, „Bus à haut niveau de service“).

Investitionskosten:	269 Mio. Franken
Bauzeit:	4 Jahre (ab 2014)
Eröffnung:	Im Jahr 2018
Erwartete Fahrgastzahlen:	[unbekannt]
Taktfrequenz:	5min- bis 8min-Takt zu den Hauptverkehrszeiten

Die folgende Abbildung zeigt das bis 2030 geplante Liniennetz der Stadt Lausanne.

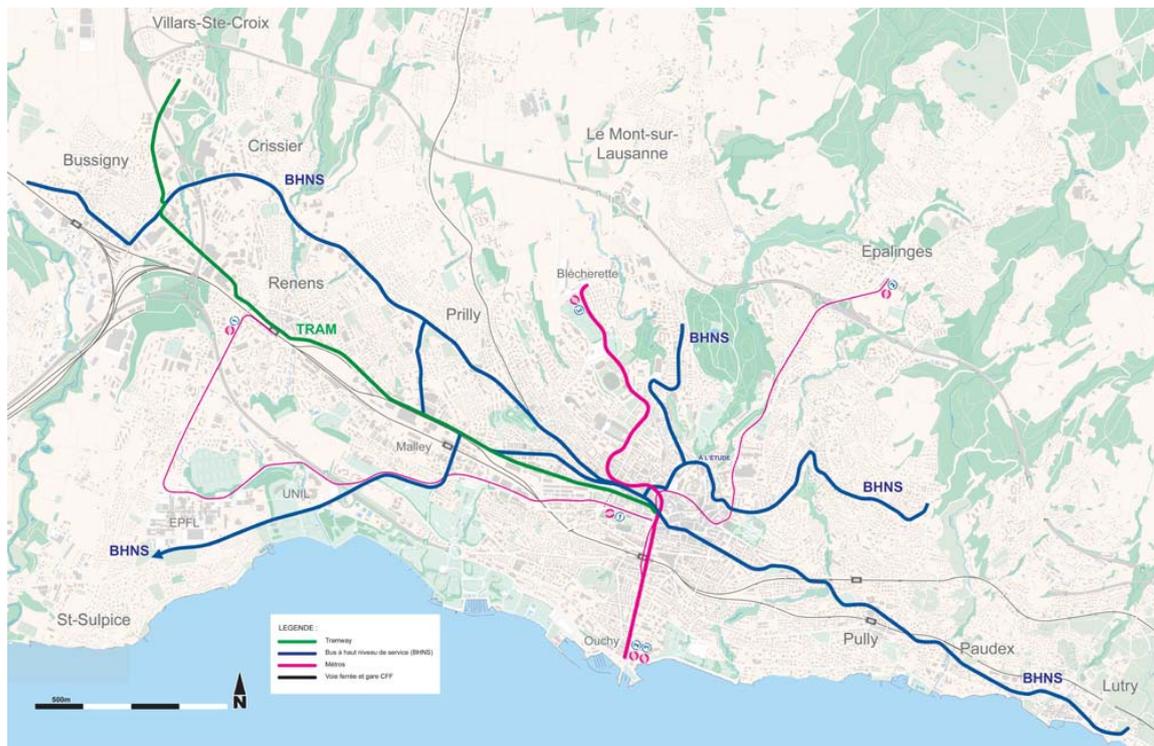


Abbildung 16: Liniennetz Stadt Lausanne

Quelle: Agglomération Lausanne-Morges, online

In rosarot sind die bereits bestehenden Linien der Metro eingetragen, in grün die neue und direkte Linie von Renens Bahnhof bis Lausanne Bahnhof, in blau die BHLS-Linien.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 55/64

6.2. St. Gallen

Die Verkehrsbetriebe St. Gallen (VBSG) betreiben 12 Trolleybus- und Autobuslinien in der Agglomeration St. Gallen. 2009 investierten die VBSG rund 60 Millionen Schweizer Franken in 66 moderne neue Busse. Von 1897 bis 1957 verfügte die Stadt über eine Trambahn. Über eine Wiedereinführung wird immer wieder diskutiert. Mit 150'000 Einwohner gehört die Agglomeration zur Kategorie 2 (vgl. Tabelle 4) und weist grundsätzlich ein Potential für Trams auf (vgl. Tabelle 5).

Folgende Linien in der Agglomeration St. Gallen zählen heute ein Passagieraufkommen von mehr als 4 Millionen und eignen sich damit grundsätzlich für ein BHLS:

- Linie 1 von Winkeln nach Stephanshorn: 7 Kursfahrzeuge (Doppelgelenktrolleybus) mit 5.1 Mio. Einsteiger pro Jahr
- Linie 4 von Wolfgangshof nach Guggeien: 7 Kursfahrzeuge (Gelenktrolleybus) mit 4.4 Mio. Einsteiger pro Jahr
- Linie 7 von Abtwil St. Joseffen nach Neudorf: 10 Kursfahrzeuge (Gelenkbus, Megaautobus) mit 6 Mio. Einsteiger pro Jahr

Als kurz- bis mittelfristige Alternative sollte auf diesen Linien entsprechend auch ein System mit BHLS diskutiert werden.

6.3. Winterthur

Stadtbus Winterthur betreibt in und um Winterthur 23 Buslinien, die im Jahr 2012 über 26 Millionen Passagiere transportiert haben. In Winterthur prägten früher Trams das Stadtbild. Diese wurden jedoch nach einem Volksentscheid seit 1926 bis 1951 sukzessive durch Trolleybusse ersetzt. Heute besteht die Busflotte von Stadtbus Winterthur zu mehr als einem Drittel aus Gelenktrolleybussen. Mit rund 139'000 Einwohnern gehört die Agglomeration gemäss Weidmann zur Kategorie 3 (vgl. Tabelle 4). Ein Tram scheint, obwohl einige Machbarkeitsstudien Trams in Winterthur als sinnvoll erachten, politisch keine Priorität zu haben. Auf stark frequentierten Linien könnte aber, je nach Wachstumsprognose, ein Verkehrssystemwechsel in Zukunft wieder aktuell werden.

Folgende Linien in Winterthur weisen ein Passagieraufkommen von mehr als 4 Millionen Einsteigern pro Jahr auf:

- Linie 1 von Oberwinterthur nach Töss: 9 Kursfahrzeuge (Gefäss Gelenktrolleybus) mit 5.7 Mio. Einsteigern pro Jahr
- Linie 2 von Wülflingen nach Seen: 11 Kursfahrzeuge (Gefäss Gelenktrolleybus) mit 7.4 Mio. Einsteigern pro Jahr
- Linie 3 von Oberseen nach Rosenberg: 9 Kursfahrzeuge (Gefäss Gelenktrolleybus) mit 4.7 Mio. Einsteigern pro Jahr

Vor allem als kurz- bis mittelfristige Lösung könnte der Einsatz von BHLS interessant werden, zumindest wenn über die Einführung von Doppelgelenktrolleybussen diskutiert wird.

6.4. Lugano

In der Agglomeration Lugano bildet das geplante Tramsystem einen Hauptpfeiler des Agglomerationsprogramms. Die entsprechenden Pläne sind bereits weit fortgeschritten. Die Vorstudie und ein Business Plan sind erstellt worden, und die notwendigen Planungskredite durch die Stadt und den

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 56/64

Kanton Tessin gesprochen. Das Konzept sieht eine neue Verbindung zwischen dem Stadtzentrum und der Ebene von Manno (Bioggio) vor, die hauptsächlich als Tunnel geführt wird (so genannte prioritäre Etappe). In der Nähe von Bioggio soll ausserdem eine P+R-Anlage für 800 Autos entstehen, die mit ca. 32Mio. budgetiert ist. Anschliessend wird die bestehende Bahnstrecke nach Ponte Tresa auf Tram umgebaut, gefolgt von weiteren Etappen. Im Endausbau gleicht das Tramnetz einem „H“. Das Projekt lässt sich in folgende Eckpunkte einordnen.

Investitionskosten:	271 Mio. Franken
Bauzeit:	7 Jahre (ab 2016)
Eröffnung:	Im Jahr 2023
Erwartete Fahrgastzahlen:	10'500 täglich (für erste Etappe)
Taktfrequenz:	15min-Takt ab Manno, 7.5min-Takt ab Bioggio
Finanzierungsschlüssel:	Kanton 40%, Stadt Lugano 40%, Bioggio 10%, Manno 10%. Der Bund hat im Rahmen des Agglomerationsprogramms 2. Generation 30-35% der Kosten an die prioritäre Etappe zugesichert.

Weil die geplanten Tramlinien die wichtigsten Korridore der Agglomeration Lugano gut erschliessen werden, entfällt das Potential für zukünftige BHLS-Linien. Dies könnte sich dann ändern, wenn sich die Pläne für ein Tram nicht wie geplant realisieren liessen.

6.5. Zug

In der Agglomeration Zug leben 108'000 Einwohner. Bereits bei der Planung zur Stadtbahn Zug in den 1990er-Jahren wurde eine Option Trambahn untersucht. Seit diesen Planungen – und trotz der Realisierung der Stadtbahn Zug auf den bestehenden Infrastrukturen der SBB – wurden die Tramkorridore für den öffentlichen Verkehr freigehalten. Die neuesten Untersuchungen für Zug vergleichen die Nutzen und die Kosten eines Tram- und eines Schnellbussystems mit einander. Sie kommen zum Schluss, dass „ein Tramsystem für den Kanton Zug nicht angemessen ist“ (ETH, online). Entsprechend lässt in der Agglomeration Zug ein BHLS in Ergänzung zur bereits existierenden Stadtbahn Zug eine Prüfung lohnenswert erscheinen.

6.6. Fribourg

Die Freiburgischen Verkehrsbetriebe TPF verkehren auf dem ganzen städtischen und regionalen Netz in der Agglomeration Fribourg. Sie betreiben Normalspurbahnlinien, Schmalspurbahnlinien, Trolleybuslinien, Autobuslinien sowie eine Standseilbahn. In Fribourg begann 1951 die Umstellung vom Tram auf Trolleybus, und 1965 fuhr das letzte Tram. Die Agglomeration Fribourg hat mit 105'000 Einwohnern ebenfalls ein Potential für BHLS oder Tram.

Folgende Linien in Fribourg weisen ein Passagieraufkommen von mehr als 4 Millionen Einsteigern auf und bieten damit mittel- bis langfristig ein Potential für einen Verkehrssystemwechsel:

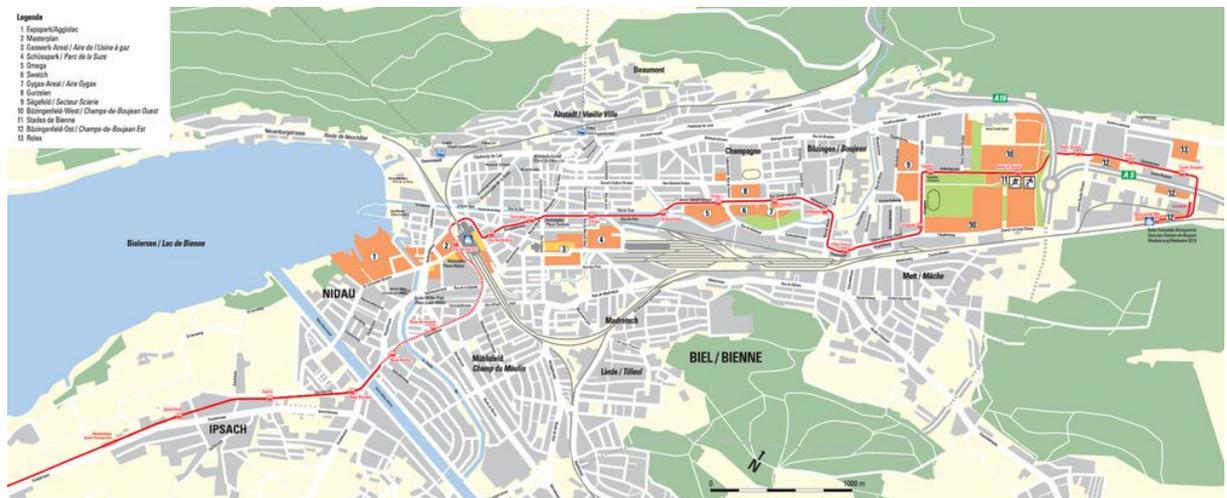
- Linie 1 von Portes-de-Fribourg nach Marly: mit 4.4 Mio. Einsteigern pro Jahr
- Linie 2 von Les Dailles nach Schönberg: mit 4.3 Mio. Einsteigern pro Jahr

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 57/64

6.7. Biel

In der Agglomeration Biel leben 93'000 Einwohner. Ein Tram befindet sich momentan in Planung. Dieses besteht im Wesentlichen aus einer teilweisen Verlegung und einer Verlängerung der heutigen Biel-Täuffelen-Ins-Bahn vom Bahnhof Biel ins Industriegebiet Bözingenfeld. Mit der Umstellung von Bus auf Tram würde zugleich auch das Angebot erheblich verbessert (höhere Taktichte) und das Bussystem umgebaut (Aufhebung Linie 2, Taktausdünnung Linie 4, Verlängerung Linie 7). Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für das Tram hat aufgezeigt, dass aus betriebswirtschaftlicher Sicht das Tram ein deutlich schlechteres Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist als die bisherigen Buslinien. Aus volkswirtschaftlicher Sicht empfehlen die Autoren der Studie jedoch die Realisierung. Die quantifizierten Nutzen fallen insbesondere bei den ÖV-Nutzern (höherer Komfort, bessere Umsteigebeziehungen am Bahnhof Biel, höhere Taktichte etc.). Die geplante neue Tramlinie könnte auch als BHLS geplant und realisiert werden.



Quelle: Regiotram Agglomeration Biel, online

Investitionskosten:	ca. 235 Mio. Franken
Bauzeit:	3.5 Jahre (ab 2018)
Eröffnung:	2022
Erwartete Fahrgastzahlen:	+13,5% (absolute Zahl unbekannt; die Trolleybuslinien 1 und 4 wiesen 2012 zusammen 8,35 Mio. Einsteiger auf)
Taktfrequenz:	HVZ und NVZ 7,5'-Takt, in RVZ 15'-Takt
Finanzierungsschlüssel:	Bund (40%) und Kanton Bern (60%); Gemeinden Biel, Nidau und Ipsach sowie Dritte finanzieren die Erneuerung von Werkleitungen und die Aufwertungen des Strassenraums (insgesamt 76 Mio. CHF); Planungskredit ca. 21 Mio. Franken (Kanton, Gemeinden, Dritte).

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 58/64

6.8. Fazit

Die folgende Tabelle zeigt nochmals zusammengefasst das Potential für BHLS ausgewählter Agglomerationen in der Schweiz auf.

Tabelle 25: Vergleich Schweizer Agglomerationen

Agglomeration	Einwohner	Verkehrssystem	aktuelle Situation	Potential für BHLS
Zürich	1'185'000	Tram	-	-
Genf	528'000	Tram	-	-
Basel	501'000	Tram	-	-
Bern	352'000	Tram	-	-
Luzern	209'000	BHLS	BHLS in Umsetzung	Ja
Lausanne	335'000	Metro/Tram	Tram in Umsetzung	Ja
St. Gallen	150'000	Trolleybus	-	Ja
Winterthur	139'000	Trolleybus	-	Ja
Lugano	136'000	Trolleybus	Tram in Planung	Nein
Zug	108'000	Trolleybus	-	Ja
Fribourg	105'000	Trolleybus	-	Ja
Biel	93'000	Trolleybus	Tram in Planung	Ja

Quelle: Eigene Darstellung

Diese Auflistung ist weder vollständig noch sind vier Millionen Einsteiger ein zuverlässiges Kriterium für eine Verkehrssystemwahl. Hierzu müssten einerseits das prognostizierte Wachstum in den entsprechenden Verkehrsachsen analysiert werden, andererseits auch die Verteilung der Einsteiger entlang der Ganglinien. Für die grossen Schweizer Agglomerationen ist davon auszugehen, dass aufgrund der bereits vorhandenen Tramsysteme ein BHLS aktuell eher nicht in Frage kommt, auch wenn eventuell auf einzelnen Linien das Passagieraufkommen dafür vorhanden wäre. Die beträchtliche Anzahl als geeignet bezeichneten Agglomerationen zeigt aber auf, dass in der Schweiz grundsätzlich noch einiges Potenzial für neue BHLS-Systeme besteht. Zumindest langfristig könnte sich in den genannten Agglomerationen eine Prüfung verschiedener Verkehrssysteme lohnen.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 59/64

Literaturverzeichnis

CEN (2002): EN 13816. European Committee for Standardisation CEN. Brussels.

Deng, Taotao und John D. Nelson (2011): Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, Vol. 31 Nr. 1, pp. 69-96.

Finn et al. (2011): Buses with High Level of Service Fundamental characteristics and recommendations for decision-making and research. Final Report of the Cost-Project.

Hinebaugh, Dennis et al. (2009): Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making (CBRT). Washington: U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration.

Hidalgo, Darío und Luis Gutiérrez (2013): BRT and BHLS around the world: Explosive growth, large positive impacts and many issues outstanding. In: *Research in Transportation Economics* 39 (2013), pp. 8-13.

Hidalgo, Darío und Aileen Carrigan (2010): Modernizing public transportation: Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia, EMBARQ The WRI Center for Sustainable Transport, Washington, D.C.

Hodgson, Paul, Stephen Potter, James Warren und David Gillingwater (2013): Can bus really be the new tram? *Research in Transportation Economics*, Vol. 39 Nr. 1, pp. 158–166.

Kleinheitz, Christopher (2011): Angebotsverbesserungen Schritt für Schritt oder auf einmal? Einführungsstrategien im Öffentlichen Verkehr, *Der Nahverkehr*, 3, 55-58. Düsseldorf: Alba-Verlag.

Mathy Partner Visualisierungen. Zürich.

Nelson, Arthur C., Bruce Appleyard, Shyam Kannan, Reid Ewing, Matt Miller und Dejan Eskic (2013): Bus Rapid Transit and Economic Development: Case Study of the Eugene-Springfield BRT System. Tampa: *Journal of Public Transportation* Volume 16 No. 3 2013, pp. 41-58.

Sigrist, Sandro und Jürg Aeschlimann (1999): *Trambahn der Stadt Luzern*. Leissigen: Prellbock Druck & Verlag.

Sorg, David (2011): Bus rapid transit systems and beyond: Exploring the limits of a popular and rapidly growing urban transport system. Master Thesis in Spatial Development and Infrastructure Systems. Zürich: ETH Zürich.

Sorg, David (2012): *Bus Rapid Transitsysteme: An der Grenze zwischen Bus und Bahn*. Bern: Litra.

Transbus. Lyon. Online (12.05.2014):
http://www.transbus.org/actualite/pic_2005_11.jpg

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 60/64

Vuchic, Vukan R. (2005): Urban Transit: Operations, Planning and Economics. Hoboken: John Wiley & Sons.

Weidmann, Ulrich et al. (2011): Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen. Zürich: Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme an der ETH Zürich. Forschungsauftrag SVI 2004/039 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI).

Weidmann, Ulrich (2011a): Vorlesungsskript: System- und Netzplanung Band 1.1. Grundlagen der System- und Netzplanung, Verkehrssysteme im öffentlichen Verkehr, System- und Netzplanung des Personenverkehrs.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 61/64

Anhang

Anhang 1: Einsatzkriterien verschiedener Verkehrsmittel

Verkehrsmittel	Einwoh- Siedlungsdichte, Kerndichte min. virt. Radius, Leistungsfähigkeit				
	ner, min. ¹	min. (EW/ha)	(EW&Besch/ha)	min.(km)	P/h ²
Stadtbahn ³	300'000	38	5'000	6.1	3'000-6'000
Autobahn: Teile eines Ringes	120'000	35	1'500	3.3	4'000-6'000
S-Bahn Hauptknoten ⁴	95'000	25	1'250	2.4	4'500-18'000
Strassenbahn/Tram	75'000	34	4'000	2.7	2'000-5'000
S-Bahn-Anschluss	-	-	100	-	4'500-18'000
Regionalbahn	-	-	100	-	4'500-10'000
Stadtbus	-	-	100	-	1'500-3'000
Autobahn/HVS: innerstädtisch	-	20	-	1.8	4'800-7'200
Autobahn/HVS: agglomerationsintern	-	-	-	-	4'800-7'200
Autobahn: Anschluss	-	-	-	-	4'800-7'200
Velo	-	-	-	-	100-700
Fussgängerzone (2.5m-4m Breite)	-	-	-	-	680-3'100
Seilbahn	-	-	-	-	2'000
Schwebebahn/Hochbahn/City Coaster	-	-	-	-	2'800
U-Bahn/Metro	-	-	-	-	35'000 – 40'000

¹ Gesamttagglomeration

² Annahme bei MIV 1.2 Personen pro Fahrzeug

³ Tramähnlich, im suburbanen Raum, viel Eigentrassee (Glattalbahn). Nicht wie Stadtbahn Zug (S-Bahnsystem).

⁴ Zentraler Knoten eines S-Bahn Systems wie z.B. Zürich HB oder Bern. Dazu zählen Umsteigepunkte.

Quelle: Weidmann, 2011, S. 18, leicht angepasst und ergänzt

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 62/64

Anhang 2: Sensitivitätsanalysen Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Sensitivitätsanalyse 1 - Gewichtung zu Gunsten Tram¹⁷:

		DGT	BHLS	Tram 42m	
	Betriebskosten pro Jahr	in Mio.	27.3	26.4	34.5
Kosten in CHF	Investitionskosten	in Mio.	0	75.4	879.4
	Gesamtannuitäten pro Jahr	in Mio.	27.3	30.2	79.4
		Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	
Wirksamkeit	Geschwindigkeit (*3)	9	4.5	4.5	
	Zuverlässigkeit (*3)	9	6	3	
	Takt (*1)	1.5	1.5	3	
	Städtebauliche Aufwertung (*3)	9	6	3	
	Potential zusätzliche Fahrgäste (*3)	9	6	3	
	Flexibilität (*1)	1	2	3	
	Total	38.5	26	19.5	
	Betriebskosten	1051.1	686.4	672.8	
	Rang	3	2	1	
Kosten- Wirksamkeits-Verhältnis	Investition	0.0	1960.4	17148.3	
	Rang	1	2	3	
	Gesamtannuitäten	1051.05	785.20	1548.30	
	Rang	2	1	3	

Quelle: Eigene Darstellung

¹⁷ Anmerkung: Die beiden unumstritten wichtigsten Nutzenkriterien *Geschwindigkeit* und *Zuverlässigkeit* werden in der Sensitivitätsanalyse 1 weiterhin mit 3 gewichtet.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 63/64

Sensitivitätsanalyse 2 - Gewichtung zu Gunsten DGT¹⁸:

		DGT	BHLS	Tram 42m	
	Betriebskosten pro Jahr	in Mio.	27.3	26.4	34.5
Kosten in CHF	Investitionskosten	in Mio.	0	75.4	879.4
	Gesamtannuitäten pro Jahr	in Mio.	27.3	30.2	79.4
			Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)
Wirksamkeit	Geschwindigkeit (*3)		9	4.5	4.5
	Zuverlässigkeit (*3)		9	6	3
	Takt (*3)		4.5	4.5	9
	Städtebauliche Aufwertung (*1)		3	2	1
	Potential zusätzliche Fahrgäste (*1)		3	2	1
	Flexibilität (*3)		3	6	9
	Total		31.5	25	27.5
	Betriebskosten		860.0	660.0	948.8
	Rang		2	1	3
Kosten- Wirksamkeits-Verhältnis	Investition		0.0	1885.0	24183.5
	Rang		1	2	3
	Gesamtannuitäten		859.95	755.00	2183.50
	Rang		2	1	3

Quelle: Eigene Darstellung

¹⁸ Anmerkung: Die beiden unumstritten wichtigsten Nutzenkriterien *Geschwindigkeit* und *Zuverlässigkeit* werden in der Sensitivitätsanalyse 2 weiterhin mit 3 gewichtet.

BHLS für Luzern und andere Schweizer Städte?

Luzern, 5. Juni 2014
Seite 64/64

Sensitivitätsanalyse 3 – Abschwächung der nicht voraussehbaren Nutzeneffekte BHLS¹⁹:

		DGT	BHLS	Tram 42m	
	Betriebskosten pro Jahr	in Mio.	27.3	26.4	34.5
Kosten in CHF	Investitionskosten	in Mio.	0	75.4	879.4
	Gesamtannuitäten pro Jahr	in Mio.	27.3	30.2	79.4
		Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	Ränge (gewichtet)	
Wirksamkeit	Geschwindigkeit (*3)	9	6	3	
	Zuverlässigkeit (*3)	9	6	3	
	Takt (*2)	3	3	6	
	Städtebauliche Aufwertung (*2)	5	5	2	
	Potential zusätzliche Fahrgäste (*1)	2.5	2.5	1	
	Flexibilität (*1)	1	2	3	
	Total	29.5	24.5	18	
	Betriebskosten	805.4	646.8	621.0	
	Rang	3	2	1	
Kosten- Wirksam- keits-Verhältnis	Investition	0.0	1847.3	15829.2	
	Rang	1	2	3	
	Gesamtannuitäten	805.35	739.90	1429.20	
	Rang	2	1	3	

¹⁹ Anmerkung: Die nicht zwingend voraussehbaren Nutzeneffekte *städtebauliche Aufwertung*, *Geschwindigkeit* und *Potential zusätzliche Fahrgäste* werden in der Sensitivitätsanalyse 3 beim BHLS abgeschwächt.