



Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

Schlussbericht

1. Februar 2013

ETH Zürich – Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)

Prof. Dr. Ulrich Weidmann

Lorenzo Nägeli, MSc ETH Bau-ing.

Christian Marti, MSc ETH RE&IS

Auftraggeber Amt für öffentlichen Verkehr des Kantons Zug
Aabachstrasse 5
6301 Zug

Vertreter Auftraggeber Daniel Müller, Leiter Busprojekte
041 728 55 46
daniel.mueller2@zg.ch

Inhaltliche Bearbeitung Prof. Dr. Ulrich Weidmann
Lorenzo Nägeli, MSc. Bau-Ing. ETH
Christian Marti, MSc. ETH RE&IS

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	6
2. Auftrag	7
2.1 Ausgangslage	7
2.2 Zielsetzungen des Auftrags	8
2.3 Positionierung der Arbeit	8
2.4 Randbedingungen	8
2.5 Vorgehensweise	9
2.6 Systemvarianten	10
3. Analyse	12
3.1 Raumstruktur	12
3.2 Schwerpunkte	13
3.3 Zukünftige Raumentwicklung	15
3.4 Vorhandenes ÖV-Angebot in der Agglomeration	16
3.5 Infrastrukturprojekte	18
4. Querschnittsnachfrage	19
4.1 Einleitung	19
4.2 Nachfragedaten	19
4.3 Schematische Nachfragekarten	20
4.4 Erste Netz betrachtung aufgrund der Nachfrageanalyse	24
4.5 Vertiefte Untersuchungen	26
5. Variantenaufbauprinzipien	31
5.1 Generelles Vorgehen	31
5.2 Aufbauprinzipien	31
5.3 Weitere Randbedingungen	34
6. Varianten	35
6.1 Vorgehen	35
6.2 Betrachtetes Netz und Verlauf der Korridore	35
6.3 Tram	37
6.4 BRT	43
6.5 Busplus	49
7. Bewertungsmethodik	50

8.	Bewertung 1. Stufe.....	51
8.1	Kriterien.....	51
8.2	Vorgehen	55
8.3	Ergebnisse der Bewertung	59
8.4	Sensitivitätsanalyse.....	59
8.5	Bemerkung zur Bewertung 1. Stufe.....	60
9.	Bewertung 2. Stufe.....	61
9.1	Vorgehen	61
9.2	Einsatzbereiche in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum.....	61
9.3	Kosten-Wirksamkeits-Analyse	69
10.	Schlussfolgerungen	84
10.1	Erkenntnisse	84
10.2	Empfehlungen.....	85
10.3	Anmerkungen.....	87
11.	Quellen	88

Begriffe

Tram:	Ein schienenbasiertes, spurgeführtes, elektrifiziertes System. Es kann im Mischverkehr mit dem MIV geführt werden, es wird aber hier von einer kompletten Eigentrassierung als Idealfall ausgegangen.
BRT:	„Bus rapid transit“; in dieser Arbeit wird darunter ein komplett eigentrassiertes (physisch oder elektronisch), elektrifiziertes Bussystem verstanden, das nicht spurgeführt ist. Als Gefässe werden Doppelgelenktrolleybusse angenommen. Grundsätzliche wäre auch eine andere Ausprägung denkbar, insbesondere der Einsatz von Dieselbussen, was im Rahmen dieser Studie aber nicht weiter untersucht wird; das System dient ausschliesslich der Untersuchung, ob es eine Alternative zu einem Tramsystem gibt.
Busplus:	Konventionelles Busnetz, basierend auf dem geplanten Angebot 2014. Es wird davon ausgegangen, dass als grösstmögliche Gefässe Anhängerzüge zum Einsatz kommen.
Tram-train	Kombiniertes Verkehrssystem, bei dem dieselben Fahrzeuge sowohl auf dem Vollbahnenetz als auch auf herkömmlicher Traminfrastruktur verkehren.
Hauptnetz gemäss Richtplan:	Das im Richtplan des Kantons Zug definierte Hauptnetz des öffentlichen Feinverteilers.
Betrachtetes Netz:	Das von allen Netzentwürfen abgedeckte Netz; eine Untergruppe des Hauptnetzes gemäss Richtplan.
Kernnetz:	Bei den Tramnetz- und BRT-Varianten der vom neuen, eigentrassierten System abgedeckte Teil des betrachteten Netzes.
Kernlinie:	Bei den Tramnetz- und BRT-Varianten die Linien des neuen, eigentrassierten Systems.
Ergänzungsnetz:	Bei den Tramnetz- und BRT-Varianten der nicht vom neuen, eigentrassierten System abgedeckte Teil des betrachteten Netzes. Bei der Busplus-Variante gibt es per Definition nur ein Ergänzungsnetz.
Ergänzungslinie:	Die als Ergänzung zu den Kernlinien verkehrenden konventionellen Buslinien. Bei der Busplus-Variante sind per Definition alle Linien Ergänzungslinien.
HVZ:	Hauptverkehrszeit
NVZ:	Nebenverkehrszeit
RVZ:	Randverkehrszeit
DWTV:	Durchschnittlicher Werktagsverkehr

1. Kurzfassung

Der Richtplan des Kantons Zug legt fest, dass das Hauptnetz des öffentlichen Feinverteilers zu einem Tram- oder Pneutramsystem ausgebaut werden können soll, wofür aufwändige Korridorfreihaltungen notwendig sind. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie, ob ein Tramsystem für den Kanton Zug angemessen ist oder es Alternativen für den künftigen öffentlichen Feinverteiler gibt. Als Alternativen werden einerseits das leicht modifizierte, für 2014 geplante Angebot („Busplus“) und andererseits ein komplett eigentrassiertes, elektrifiziertes Bussystem („BRT“) berücksichtigt.

Von zentraler Bedeutung für die Fragestellung ist die Nachfrage und ihre Entwicklung. Vom Auftraggeber stammt die Vorgabe, vom Extremfall eines Nachfragewachstums von 100% als Grundlage für die Untersuchungen auszugehen. Dieses Wachstum wird basierend auf Analysen der Raumstruktur und der wahrscheinlichen künftigen Entwicklung je nach Korridor des heutigen Feinverteilernetzes differenziert. Dies erlaubt es, grob denjenigen Teil des Hauptnetzes auszumachen, welcher aufgrund der Nachfrage überhaupt für ein neues, leistungsfähiges Feinverteilersystem in Frage kommt.

Für das daraus abgeleitete Netz werden anhand von klar definierten Aufbauprinzipien systematisch Varianten für Tram- und BRT-Netze entworfen. In einer ersten Bewertungsstufe werden daraus mit einer linearen Nutzwertanalyse je zwei Varianten pro System und die Busplus-Variante zur weiteren Berücksichtigung ausgewählt.

Die möglichen Gefässtypen und die verbleibenden Varianten werden hinsichtlich ihres möglichen Einsatzbereichs in Abhängigkeit des Nachfragewachstums analysiert. Es zeigt sich, dass eine nur auf Nachfrage und Kapazität ausgerichtete Untersuchung keine eindeutige Antwort auf die Frage der Angemessenheit eines Tramsystems geben kann. Ein Tramsystem ist selbst bei einer Nachfragesteigerung von über 100% keineswegs zwingend notwendig, aber bereits bei einer Nachfragesteigerung von nur 10 - 30% denkbar.

Der Vergleich der verbleibenden Varianten mittels einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse lässt hingegen klare Schlüsse zu. Die BRT-Varianten weisen eine wesentlich grössere Wirksamkeit auf als die Tramvarianten und die Variante Busplus. Auch bei der Betrachtung des Verhältnisses zwischen Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtannuitäten und der Wirksamkeit schneiden die BRT-Varianten deutlich besser ab als die beiden Tramvarianten.

Ein Tramsystem ist also für den Kanton Zug nicht angemessen. Es ist aus Kapazitätsgründen nicht notwendig, zudem erzielt ein weiterentwickeltes, eigentrassiertes Bussystem eine wesentlich grössere Wirkung bezogen auf die eingesetzten Mittel.

2. Auftrag

2.1 Ausgangslage

Die Region Zug besitzt neben der guten bahnseitigen Bedienung durch den Fernverkehr sowie die Stadtbahn Zug auch ein dichtes Busnetz, welches als Feinverteiler Stadt und Agglomeration Zug erschliesst. Diese kennzeichnen sich durch eine starke Dynamik, wollen aber gleichzeitig eine hohe Lebensqualität bewahren.

Der kantonale Richtplan des Kantons Zug sieht vor, dass das heutige Busnetz vorausschauend an die Gegebenheiten angepasst und entsprechend erweitert und modernisiert werden soll. Das Hauptnetz des öffentlichen Feinverteilers (siehe Abbildung 1) soll zudem künftig zu einem Pneutram- oder Tramsystem weiterentwickelt werden können, um auch einem grösseren Nachfragezuwachs gerecht zu werden. Letzterer erscheint als sehr wahrscheinlich, da die Region weiter wächst und der Individualverkehr sukzessive an seine Kapazitätsgrenzen stösst. Bei der Linie S1 der Stadtbahn Zug geht man daher bis 2030 von einem Nachfragezuwachs von 66% aus, was sich auf das nachgelagerte Feinverteilernetz auswirken wird.

Die Frage stellt sich allerdings, ob dieses Wachstum nicht auch längerfristig mit Stadtbahn und Bus in der geforderten Qualität bewältigt werden könnte und ob ein Systemwechsel wirklich angemessen wäre. Insbesondere ist zu diskutieren, ob und welche Alternativen zur Weiterentwicklung des ÖV-Systems bestehen. Die Beantwortung dieser Fragen ist im Zusammenhang mit aktuellen strassenseitigen Projekten von Belang, da ein Tramsystem längerfristig andere Voraussetzungen bedingt (z.B. Lichtraumprofil, Kurvenradien) und die Raumfreihaltung im Bereich des Hauptnetzes aufwändig ist.

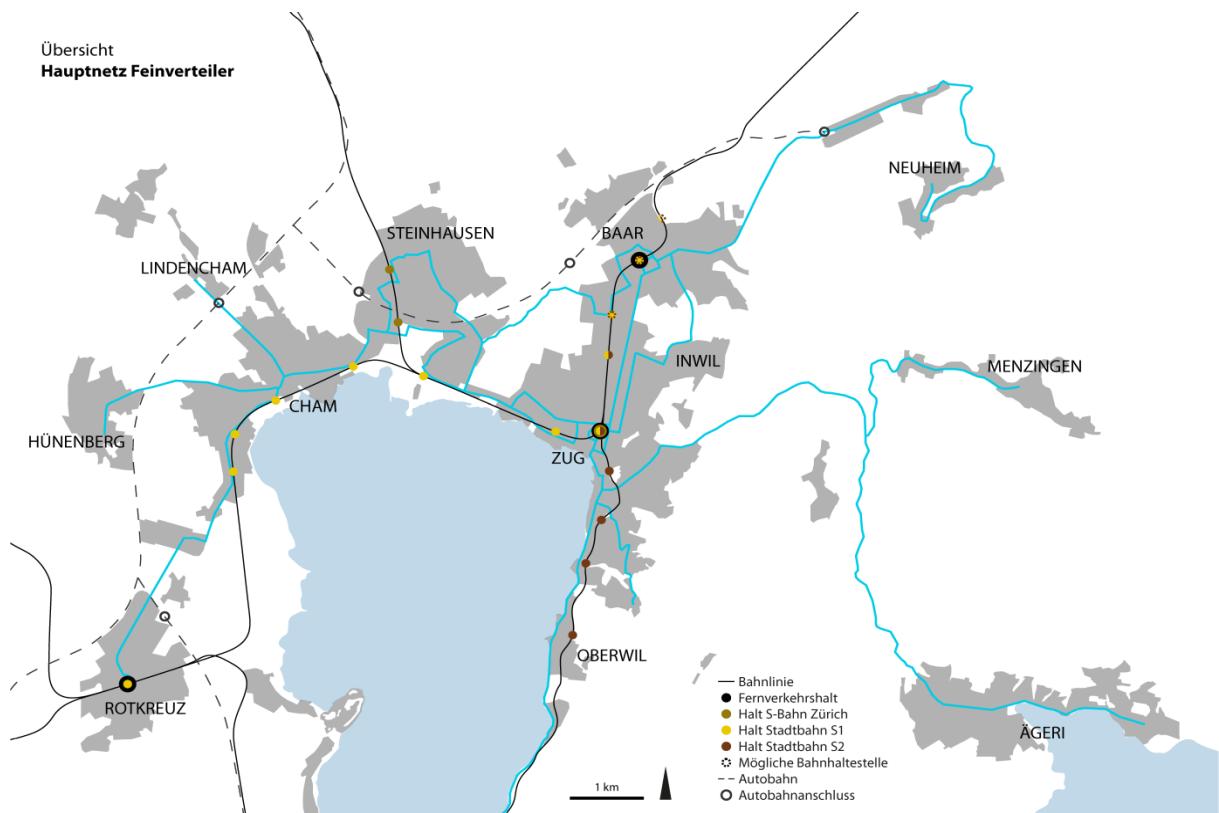


Abbildung 1: Hauptnetz des leistungsfähigen öffentlichen Feinverteilers gemäss kantonalem Richtplan (nach [Kanton Zug 2011])

2.2 Zielsetzungen des Auftrags

Für ein Szenario mit einem Nachfragezuwachs um 100 %, welches etwa im Zeithorizont 2030 erreicht werden könnte, sollte untersucht werden, ob und unter welchen Umständen ein schienengebundenes Verkehrssystem für das Hauptnetz des Feinverteilers im Kanton Zug angemessen ist.

Die Ziele der Studie waren im Einzelnen:

- Es sollte aufgezeigt werden, ob bei dieser 100-prozentigen, uniformen Zunahme der Nachfrage gegenüber heute ein schienengebundenes Verkehrssystem auf gewissen Korridoren grundsätzlich gerechtfertigt wäre.
- Zur Bearbeitung dieser Fragen sollten vier Szenarien betrachtet werden: Der heutige Zustand, eine Weiterentwicklung des heutigen Systems ohne strukturelle Eingriffe, ein Bussystem mit hoher Eigentrassierung und ein Tramsystem.
- Für alle vier Szenarien waren die ungefähre Lage der Korridore, der Realisierungshorizont und die Grobkosten zu klären. Des Weiteren musste geprüft werden, ob das System wirtschaftlich betrieben werden könnte.
- Das Projekt sollte Grundlagen für eine zweite Projektphase (Detailstudien) schaffen. Die zweite Projektphase war im vorliegenden Auftrag nicht enthalten.

2.3 Positionierung der Arbeit

Der Richtplan der Agglomeration Zug sieht vor, dass auf dem Hauptnetz des öffentlichen Feinverteilers (siehe Abbildung 1), welches heute vollständig als Busnetz betrieben wird, künftig ein Tramsystem realisierbar wäre. Da ein Tramsystem massgeblich andere Anforderungen an die Infrastruktur stellt, kann dies weitgehende Konsequenzen haben.

Im Rahmen dieser Studie sollte somit die Frage geklärt werden, ob für die Agglomeration Zug ein Tramsystem in Zukunft überhaupt in Frage kommen könnte. Um diese Frage zu beantworten, mussten denkbare alternative Systemvarianten ausgearbeitet und bewertet werden.

2.4 Randbedingungen

Folgende Randbedingungen wurden mit dem Auftraggeber vereinbart:

- Die Studie beabsichtigt nicht Planung eines künftigen Verkehrssystems für den Raum Zug; Ziel ist die Systembeurteilung.
- Die Arbeiten basieren auf öffentlich zugänglichen sowie vom Auftragnehmer zur Verfügung gestellten Informationen und Grundlagen.
- Räumlicher Betrachtungsperimeter ist das Gebiet Rotkreuz-Cham-Steinhausen-Baar-Zug-Ägeri. Peripherere Korridore, die nachfragemässig kaum in den Trambereich vorstossen, werden ausser Acht gelassen.
- Die Betrachtungen gehen von einer uniformen, 100-prozentigen Steigerung der Nachfrage gegenüber heute bis etwa ins Jahr 2030 aus.
- Die Nachfrageannahme ist nicht mit eigenen Prognosen zu validieren, sondern als Szenario zu betrachten.
- Die Überlegungen haben vorab konzeptionellen Charakter. Eine quantitative und finanzielle Betrachtung erfolgt nur summarisch.

- Der Kanton Zug strebt keine weitere Förderung des Wachstums an, sondern dessen Konsolidierung.
- Weiteres Wachstum soll vorab innerhalb des bisherigen Siedlungsgebietes durch Verdichtung erfolgen; es wird nicht angestrebt, dass mittels neuer öffentlicher Verkehrssysteme eine Lenkung der Siedlungsentwicklung bewirkt wird.
- Spezifische Modal-Split-Ziele sind nicht vorgegeben; die Untersuchung kann sich auf die Weiterentwicklung des öffentlichen Verkehrs konzentrieren.
- Behinderungen des MIV durch den Ausbau des ÖV sind bei den Varianten möglichst zu vermeiden.
- Für die Stadtbahn Zug gilt grundsätzlich der Status quo (15-Minuten-Takt, maximal zwei Fahrzeugeinheiten pro Zug).
- Ein tram-train-System ist nicht zu evaluieren. Aufgrund der bereits heute sehr hohen Auslastung des Schienennetzes bestehen grosse Unsicherheiten bezüglich Machbarkeit, zudem bietet dieses Systems nicht die gewünschte Flexibilität.

2.5 Vorgehensweise

Für die Studie wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Analyse des IST-Zustandes
2. Festlegung von Aufbauprinzipien für die Variantenentwicklung sowie von Zielgrössen für den anschliessenden Variantenvergleich
3. Variantenaufbau
4. Bewertung der Varianten und anschliessende Sensitivitätsanalyse
5. Synthese; Beantwortung der Fragestellung

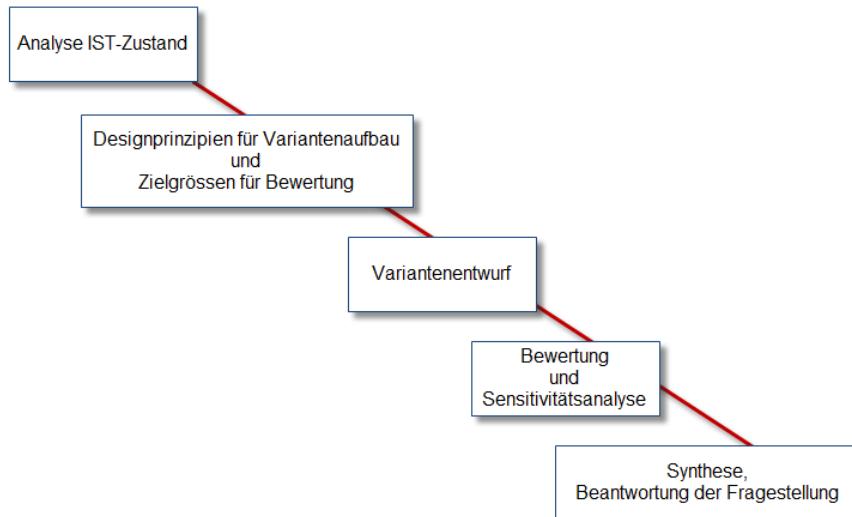


Abbildung 2: Vorgehensweise

Ein Aufbau von Varianten war notwendig, da die Fragestellung (Braucht Zug ein Tram?) nicht allgemein, das heisst ohne Betrachtung des Kontextes und konkreter Tramnetzentwürfe, beantwortet werden konnte. Erst diese erlaubten wichtige Aussagen zur Angemessenheit eines Systems. Eine ausschliesslich auf die heutige Nachfrage fokussierte Betrachtung hätte deshalb zu falschen Schlüssen geführt.

2.6 Systemvarianten

Um die Frage bezüglich Angemessenheit eines Tramsystems beantworten zu können, wurden als Alternativen zu einer Tramlösung zusätzlich Varianten mit einem vollständig eigentrassierten, elektrifizierten Bussystem (BRT) mit langen Fahrzeugen (Doppelgelenktrolleybusse) sowie eine konventionelle Busvariante, basierend auf dem für 2014 geplanten Angebot, berücksichtigt. Weitere Systeme wurden aus folgenden Gründen nicht betrachtet:

- Spurbussysteme, welche sich deutlich vom berücksichtigten BRT-System abheben (insbesondere durch Fahrzeuglängen über 25 Meter), haben ähnliche Eigenschaften wie ein Tramsystem (sie bedingen eine durchgehende Spurführung und weitgehende Eigentrassierung) und wurden daher nicht separat betrachtet. Sollte ein Tramsystem für den Kanton Zug angemessen sein, wäre zu ermitteln, ob ein Spurbussystem eine Alternative darstellen könnte.
- Die Berücksichtigung eines tram-train-Systems wurde vom Auftraggeber nicht gewünscht (siehe Kapitel 2.4).
- Systeme mit grösserer Kapazität als ein Tramsystem (z.B. U-Bahn, Schwebebahn mit Grosskabinen, Reiterbahn, Magnetbahn, Luftkissenbahn) kommen nicht in Frage, da schon bei einem Tram die Frage im Raum steht, ob die Nachfrage gross genug ist.
- Unkonventionelle Systeme wie Kleinkabinenbahnen oder Stetigförderer sowie seilgetriebene Bahnen eignen sich vor allem für sehr spezifische, im Raum Zug nicht generell anzutreffende Situationen.

Es existieren zahlreiche Ausprägungen von Tram-, BRT- und konventionellen Bussystemen. Zudem sind Mischformen von BRT- und konventionellem Bussystem denkbar, bei denen gewisse Linien sowohl auf eigentrassierter Infrastruktur als auch konventionell im Mischverkehr verkehren.

Die differenzierte Betrachtung der Ausprägung einzelner Systeme wäre erst im Rahmen einer groben Vorstudie angebracht, bei der auf einzelne Elemente der Infrastruktur und auf Problemstellen detailliert eingegangen werden kann. In dieser Studie hingegen wurden sehr viele Varianten verglichen, weshalb vereinfacht von einer vollständigen Eigentrassierung bei Tram- und BRT-Systemen ausgegangen wurde und Mischformen zwischen BRT- und konventionellem Bussystem nicht berücksichtigt wurden.

Abbildung 3 zeigt die wichtigsten Eigenschaften der Systeme. Diese werden eingehend in Kapitel 8.2 erläutert.

	Tram	BRT	Busplus
Infrastruktur			
Eigentrassierung	Vollständige Eigentrassierung	Vollständige Eigentrassierung (physisch oder elektronisch)	Nur bestehende und geplante Eigentrassierung (siehe Kapitel 3.5)
Investitionskosten	CHF 35 Mio. / km	CHF 15 Mio. / km	–
Fahrzeuge			
Typ	Tram (36m)	Doppelgelenktrolleybus (25m)	Standardbus (12m) / Gelenkbus (18m) / Anhängerzug (23m)
Kapazität	220 P.	129 P.	53 / 97 / 109 P.
Betrieb			
Betriebskosten	CHF 13.50 / Fzkm	CHF 9.- / Fzkm	CHF 7.- / 8.- / 8.50 / Fzkm

Abbildung 3: Wichtigste Eigenschaften der berücksichtigten Systeme

3. Analyse

3.1 Raumstruktur

Die Agglomeration Zug (rot eingefärbt in Abbildung 4) ist massgeblich definiert durch die Siedlungsschwerpunkte Zug, Baar, Steinhausen, Cham und Rotkreuz, wobei die Räume Zug-Baar sowie Cham-Steinhausen relativ fliessend ineinander übergehen. Rotkreuz bildet dabei ein etwas eigenständigeres, räumlich isolierteres Zentrum. Dörflich geprägte Siedlungen kennzeichnen das Umland der Agglomeration, wie beispielsweise das Ägerital mit seinem grösseren Ausmass an Wohnraum.

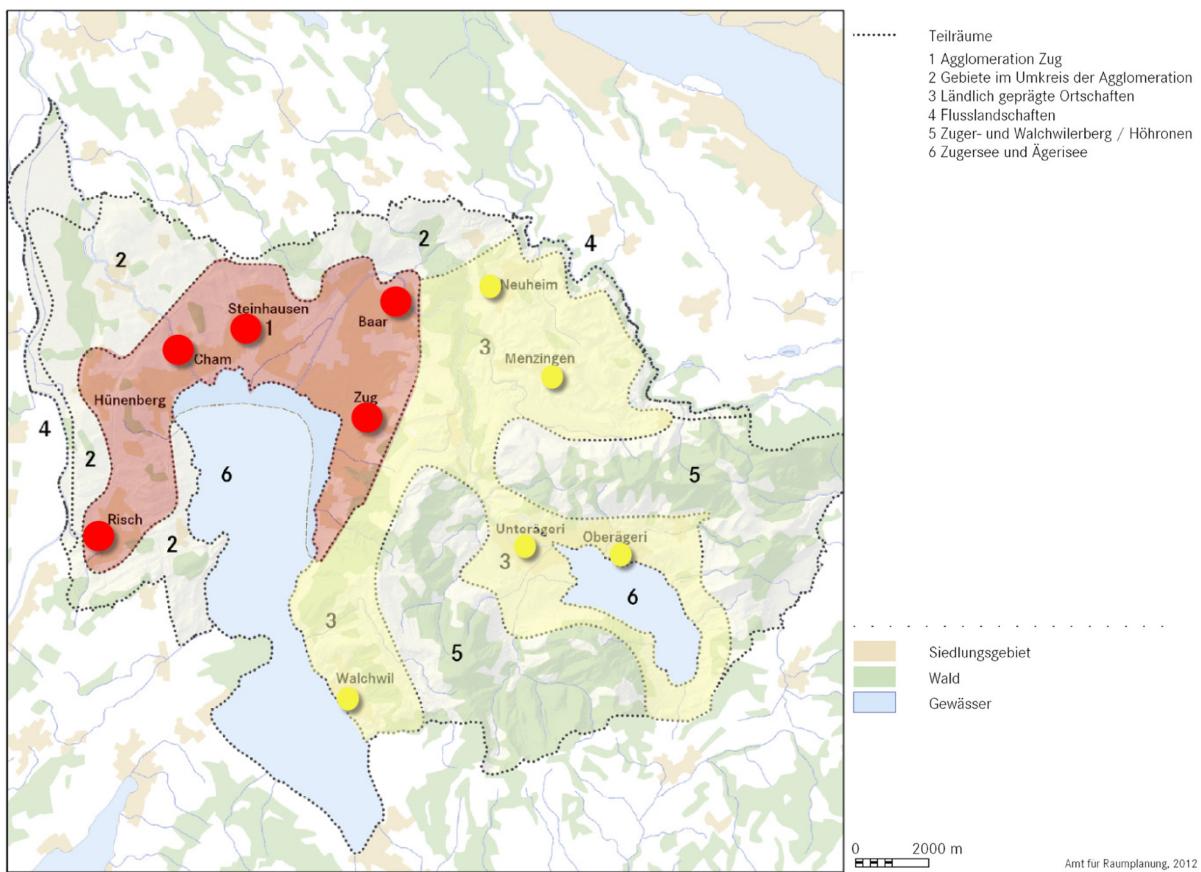


Abbildung 4: Raumstruktur (Grundlage: [Kanton Zug 2012a, Abb. 7])

Berücksichtigt wurde in dieser Studie grundsätzlich der Agglomerationsbogen Rotkreuz-Cham-Steinhausen-Baar-Zug sowie das Ägerital. Die weiteren Gebiete wurden nur wo nötig betrachtet (z.B. Endpunkte von Buslinien).

3.2 Schwerpunkte

Wie Abbildung 5 zeigt, weisen diverse Gebiete eine hohe Bevölkerungskonzentration auf.

Das Zentrum der Stadt Zug mit seiner hohen Bebauungsdichte, den zahlreichen Geschäften und Büros bietet eine hohe Beschäftigtenkonzentration. Wie Abbildung 5 zeigt, ist das Zuger Stadtzentrum damit das wichtigste Ziel im Grossraum Zug. Daneben bilden aber auch das Gebiet um den Bahnhof Baar, das Industriegebiet Sumpf zwischen Cham und Steinhausen, der Raum nördlich der Bahnachse in Rotkreuz, das Gebiet Industrie Bösch sowie die Lättichstrasse in Baar wichtige Orte mit einer hohen Beschäftigtenkonzentration.

Abbildung 7 zeigt die Überlagerung der Bevölkerungs- und Beschäftigungskonzentration, zudem sind die publikumsintensiven Nutzungen eingezeichnet. Diese sind allesamt bereits heute sehr gut mit dem ÖV erschlossen.

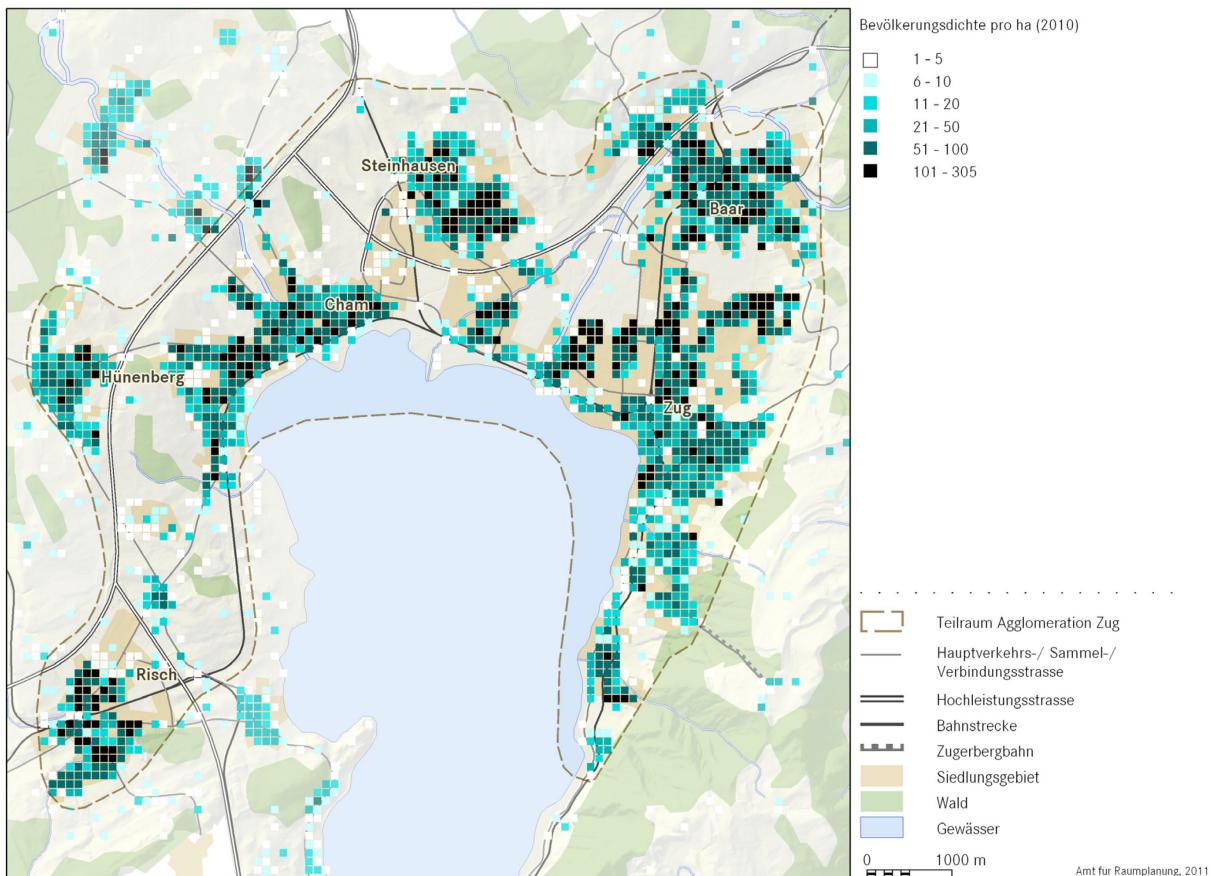


Abbildung 5: Bevölkerungskonzentration im Raum Zug (Quelle: [Kanton Zug 2012a, Abb. 10])

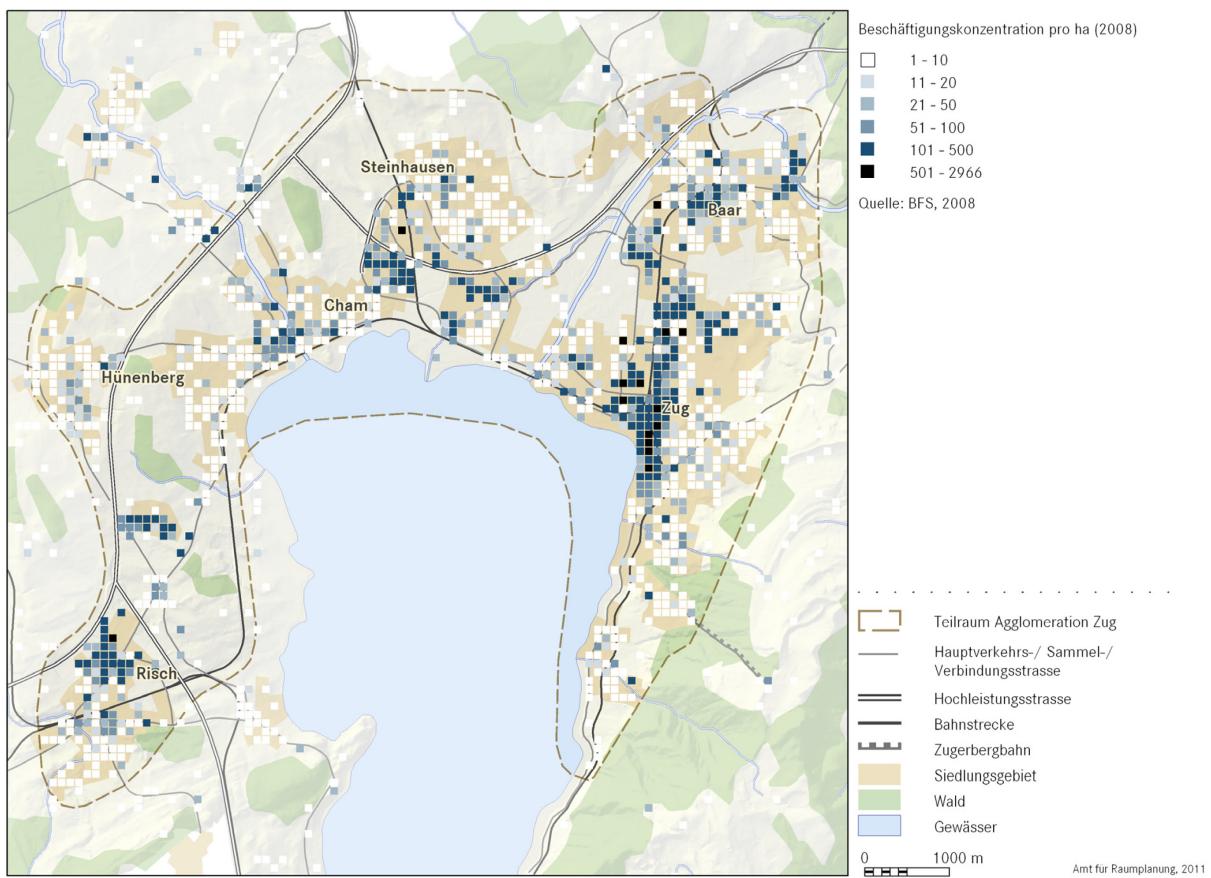


Abbildung 6: Beschäftigungskonzentration im Raum Zug (Quelle: [Kanton Zug 2012a, Abb. 11])

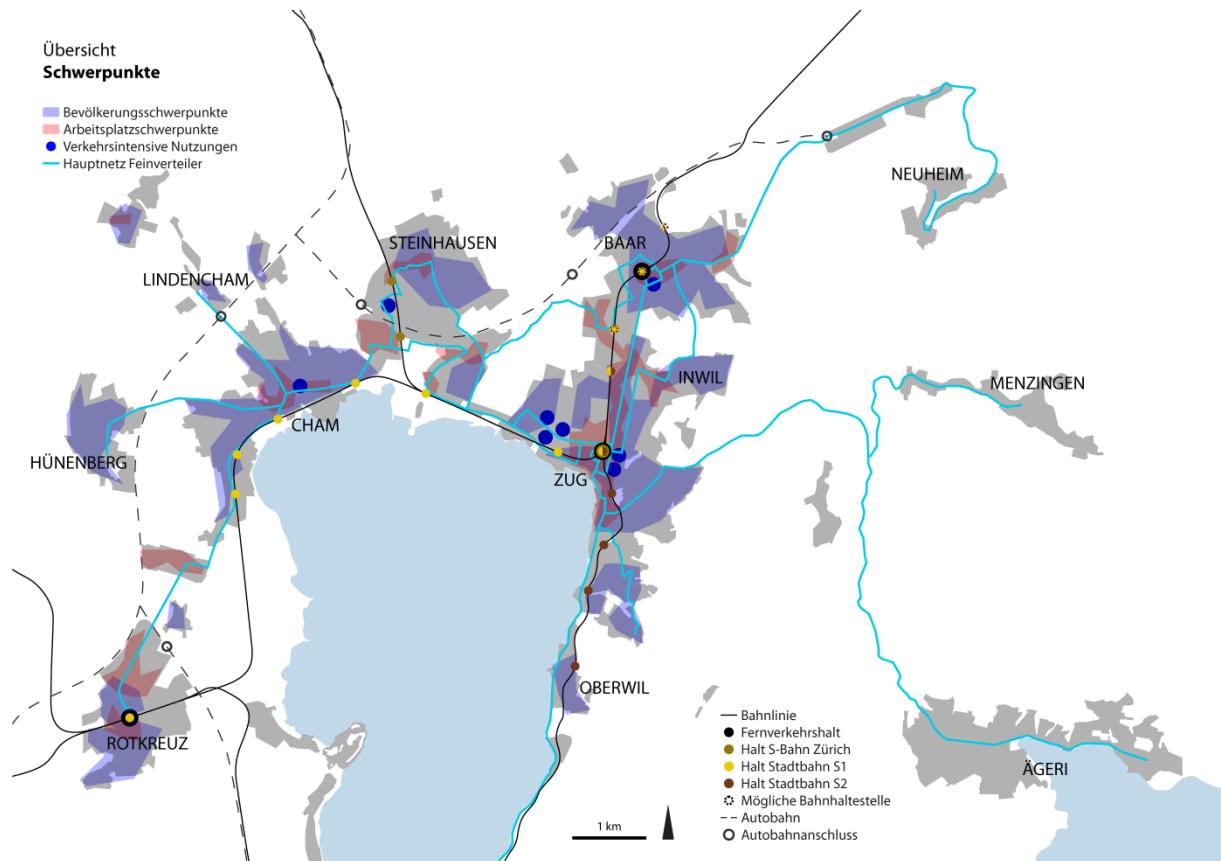


Abbildung 7: Schwerpunkte – Synthesedarstellung (nach [Kanton Zug 2012a])

3.3 Zukünftige Raumentwicklung

Für diese Studie ist die zukünftige Raumentwicklung von grosser Relevanz. Die wichtigste Quelle hierzu ist die Karte mit Gebieten für Verdichtung und Zentrumsgebieten, welche Teil der Dokumentation zur laufenden Anpassung des kantonalen Richtplans ist [Kanton Zug 2012d] (siehe Abbildung 8).

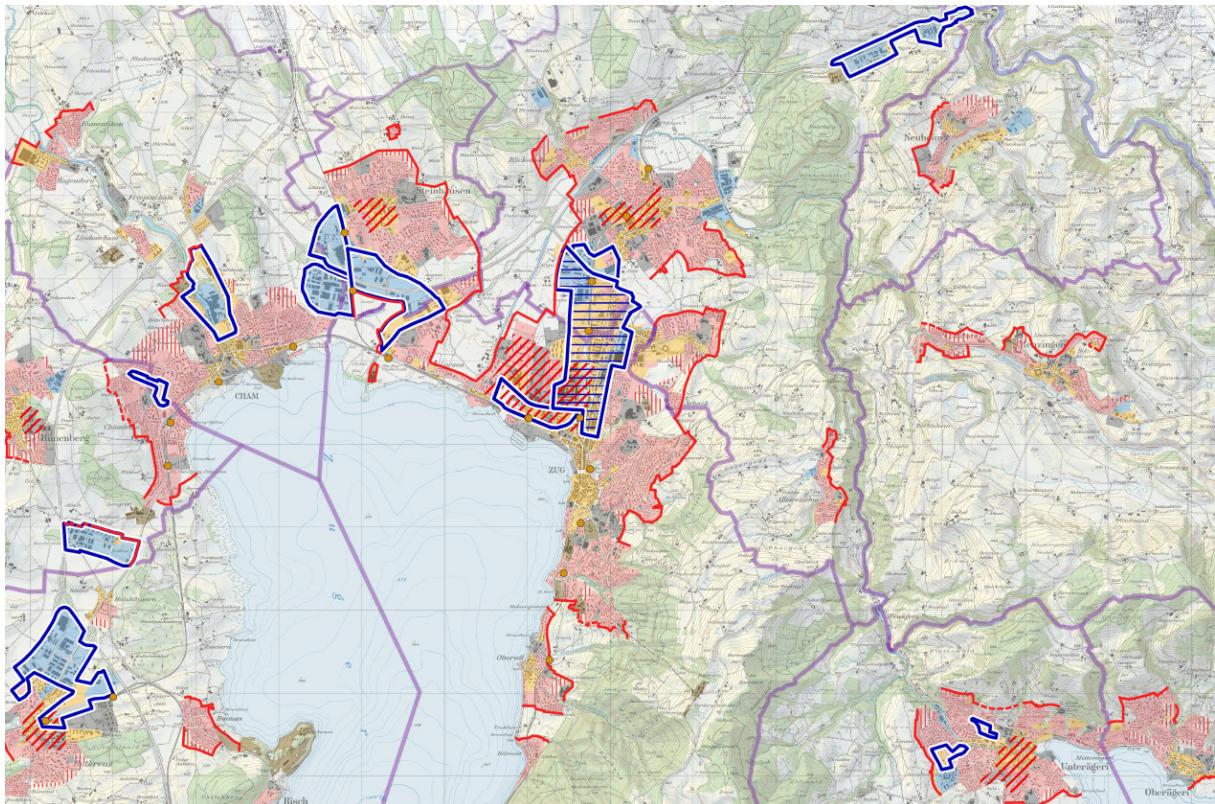


Abbildung 8: Gebiete für Verdichtung und Zentrumsgebiete; Wohnzonen (rot), Arbeitszonen (blau), Mischzonen (gelb), Verdichtungszonen (blau umrandet oder blaue Schraffur), Zentrumsgebiete (schräge rote Schraffur), Siedlungsbegrenzung (rote Linien) und Gebiete für Siedlungserweiterung (feine, senkrechte rote Schraffur) (Quelle: [Kanton Zug 2012d, Abb. 13])

Besonders zu beachten sind dabei die Verdichtungsgebiete im Raum südlich von Steinhäusen, aber auch im Raum Rotkreuz nördlich der Bahn. Es handelt sich vor allem um Arbeitszonen, die bei einer positiven Entwicklung massgeblich Verkehr anziehen werden.

Gemäss [Kanton Zug 2012d] sollen in den nächsten Jahren keine substantiellen Neueinzo- nungen vorgenommen werden, d.h. es sind keine massgeblichen Siedlungserweiterungen vorgesehen (kleine Arrondierungen von Bauzonen bleiben möglich). Die in Abbildung 8 vielerorts an den Siedlungsranden eingezeichneten Gebiete für Siedlungserweiterungen sind vielmehr als langfristige strategische Reserve gedacht.

Abbildung 9 zeigt die Verdichtungsgebiete zusammen mit den noch unbebauten Bauzonen, den Siedlungserweiterungsgebieten, den Zentrumsgebieten und dem Hauptnetz des öffentlichen Feinverteilers.

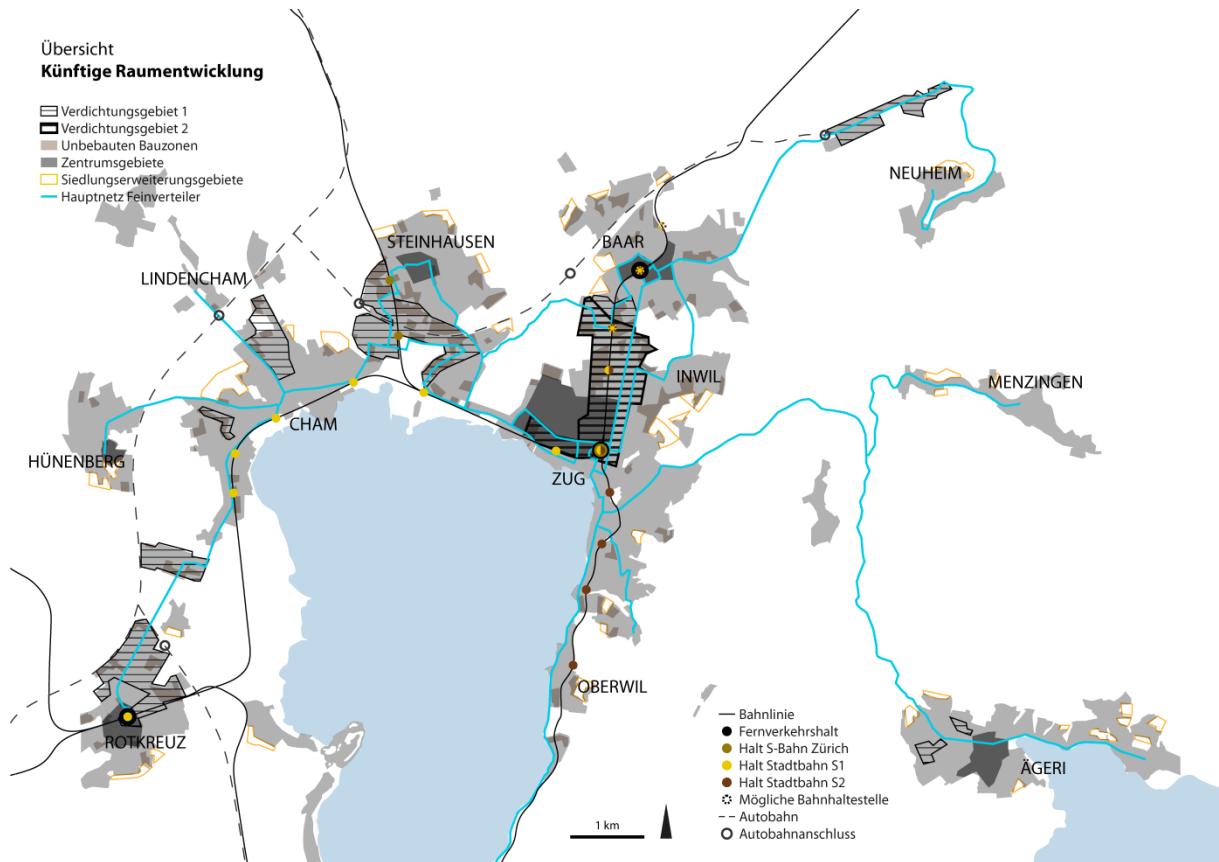


Abbildung 9: Zukünftige Raumentwicklung – Synthesedarstellung (nach [Kanton Zug 2012d])

3.4 Vorhandenes ÖV-Angebot in der Agglomeration

Den Mittelverteiler im Verkehrssystem bildet die Stadtbahn Zug mit ihren zwei Linien:

- S1 Baar – Rotkreuz (– Luzern); 15min-Takt
- S2 Baar Lindenpark – Walchwil (– Arth Goldau – Erstfeld); 30min-Takt

Anschlusspunkt an den Fernverkehr ist der Bahnhof Zug, wo auch ein Übergang von der S1 auf die S2 möglich ist. Die Feinerschliessung übernimmt das dichte Busnetz der Zugerland Verkehrsbetriebe, auf welches nicht nur am Bahnhof Zug, sondern auch an weiteren Haltestellen der Stadtbahn Zug übergegangen werden kann. Die Hauptlinien verkehren während der Hauptverkehrszeit (HVZ) im 15min-Takt, die am stärksten belastete Linie im 7.5min-Takt. Die weniger stark frequentierten Linien werden auch während der HVZ im 30min-Takt betrieben.

Hauptdrehkreuz des Verkehrssystems bildet der Bahnhof Zug, welcher relativ zentral in der Stadt liegt. Heute existiert allerdings kein konzentrierter Busbahnhof, der Anschluss wird über die drei Haltestellen „Bahnhofplatz“, „Metalli“ sowie „Landis&Gyr“ gewährleistet. Die Fusswege zu diesen Haltestellen sind teilweise recht lang und die Orientierung ist nicht überaus intuitiv.

Abbildung 10 zeigt den Netzplan 2012.

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

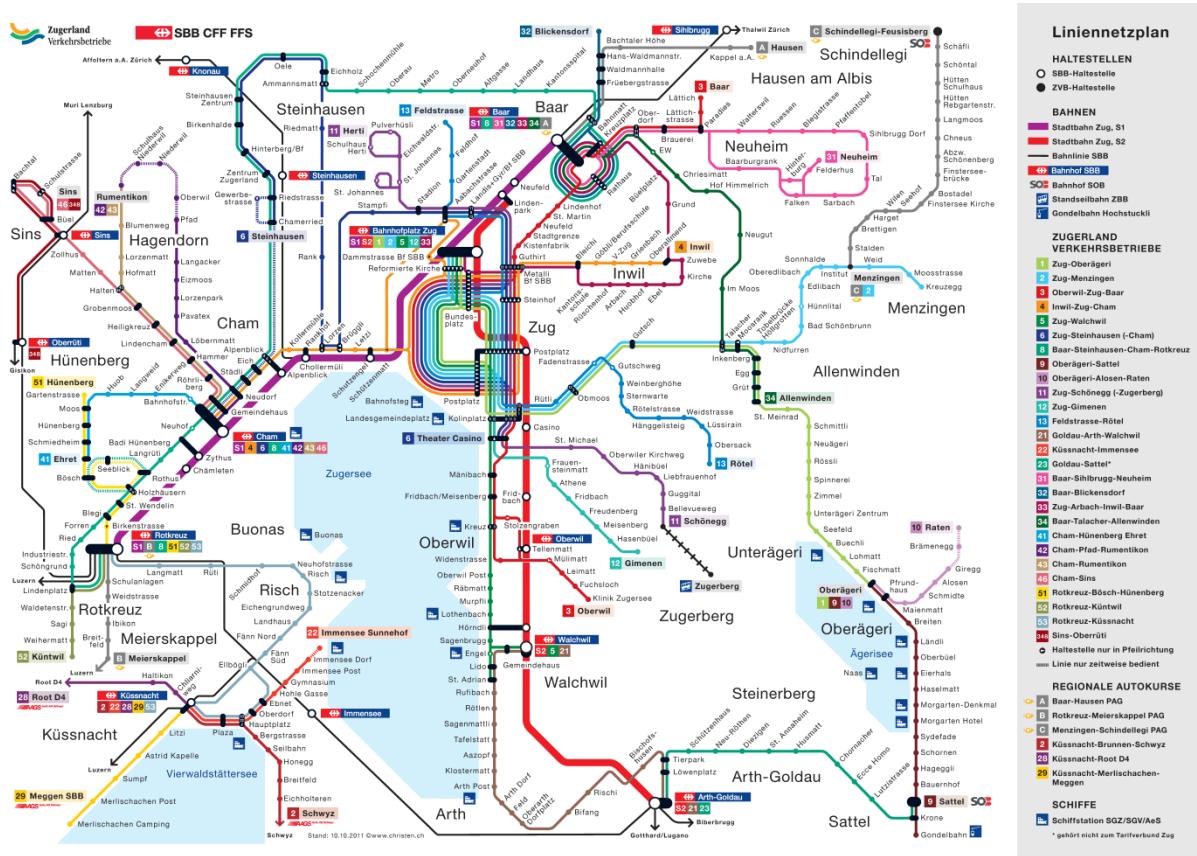


Abbildung 10: Netzplan Raum Zug für das Jahr 2012 (Quelle: [ZVB 2011])

Die Angebote 2013 und 2014 wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Basis für die spätere Betrachtung der Variante Busplus bildet das Angebot 2014 (siehe Abbildung 11).

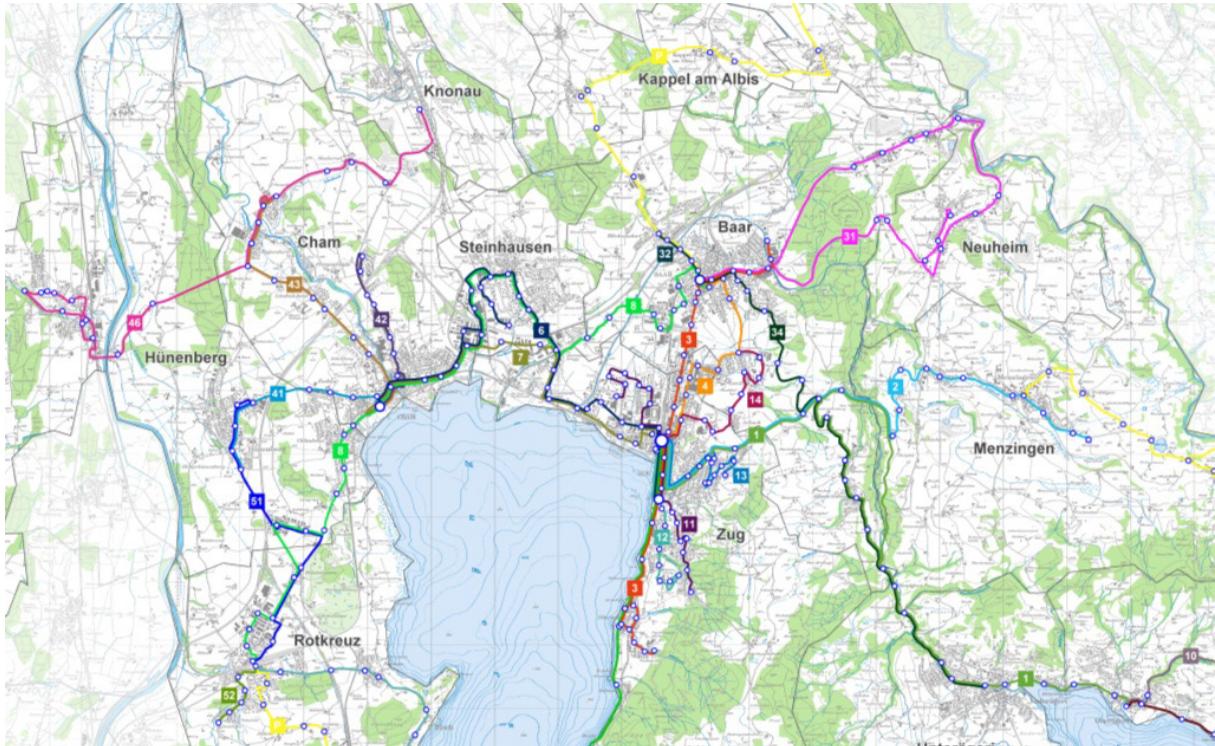


Abbildung 11: Angebot 2014 (Quelle: [AOV 2011])

3.5 Infrastrukturprojekte

Im Betrachtungsperimeter stehen etliche Infrastrukturprojekte bevor, die sich auf den ÖV auswirken. Bahnseitig sind insbesondere die beiden S-Bahn-Haltestellen „Rigiblick“ (Eröffnung 2012) sowie „Baar Sennweid“ (ca. 2019) zu erwähnen. Auf dem Busnetz sind an etlichen Stellen zusätzliche Busspuren geplant, die bei den späteren Systembetrachtungen bereits mitberücksichtigt werden. Strassenseitig ist vor allem der Stadttunnel Zug von Belang, welcher dem ÖV im Gebiet des Zuger Stadtzentrums mehr Raum zur Verfügung stellen könnte. Das 3. Gleis zwischen Zug und Baar Lindenpark, welches eine Verlängerung der S2 bis Baar Lindenpark ermöglichte, soll womöglich weiter verlängert werden, sodass eine Weiterführung der S2 bis Baar Sennweid möglich würde. Eine Übersicht über die wichtigsten Infrastrukturprojekte im Betrachtungsperimeter der Studie ist in Abbildung 12 ersichtlich.

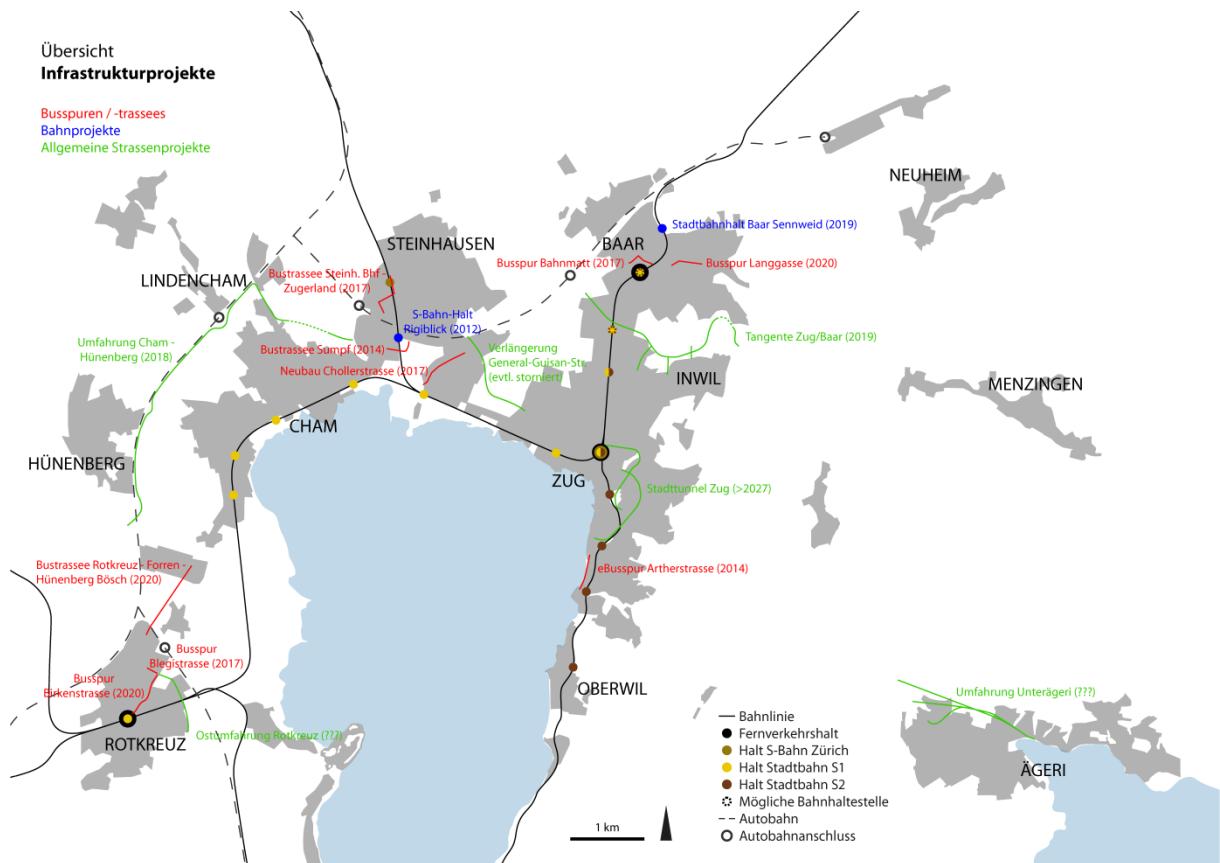


Abbildung 12: Übersicht Infrastrukturprojekte (Quellen: [Kanton Zug 2012a], [Kanton Zug 2012b], [Kanton Zug 2012c], [Müller 2012])

Bei der Betrachtung des Hauptnetzes des Feinverteilers gemäss Richtplan (siehe Abbildung 1) wird deutlich, dass dieses auf zahlreichen noch nicht realisierten Projekten für Busspuren / -trassees basiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass diese Projekte realisiert werden und das Hauptnetz gemäss Richtplan als Basis für die Betrachtungen dienen kann.

Des Weiteren sind grössere Ausbauten im Fernverkehrsnetz ausserhalb des Betrachtungsperimeters zu erwähnen. Die Eröffnung des Gotthard-Basistunnels kann Änderungen im Fernverkehr bewirken. Diese sind für diese Studie allerdings kaum von Belang, da Zug der wichtigste Zugang zum Fernverkehr bleiben wird. Weitere (mögliche) Infrastrukturausbauten wie der Zimmerberg-Basistunnel oder der Tiefbahnhof Luzern könnten ebenfalls Anpassungen bewirken, die allerdings im Rahmen dieser Studie nicht untersucht wurden.

4. Querschnittsnachfrage

4.1 Einleitung

Für die Beantwortung der Frage, ob ein Tramsystem für den Raum Zug langfristig in Frage kommen könnte, wurde die heutige Nachfrage auf dem gesamten Netz pauschal erhöht. Die zeitliche Entwicklung wurde dabei nicht berücksichtigt, sie ist für die Beantwortung der Hauptfragestellung nicht relevant.

Ausgehend vom heutigen Busnetz und der dazugehörigen Querschnittsnachfrage wurde vorerst eine schematische Karte erstellt, die für jeden Abschnitt eine Aussage über die Querschnittsnachfrage zulässt. Mittels Zuschlägen konnte daraus die „Zukunfts nachfrage“ gebildet werden. Gemäss Auftrag wurde dabei eine Zunahme von pauschal +100% auf allen Linien angenommen. Veränderungen der Nachfrageverteilung aufgrund einer allfälligen veränderten Linienführung wurden nicht berücksichtigt.

4.2 Nachfragedaten

Vom Auftraggeber wurden Nachfragedaten für das Busnetz (Mittlerer Werktagsverkehr pro Linie, basierend auf Querschnittszählung 2011, auf Basis Struktur 2010) zur Verfügung gestellt [ZVB 2012] (Bsp. Siehe Abbildung 13).

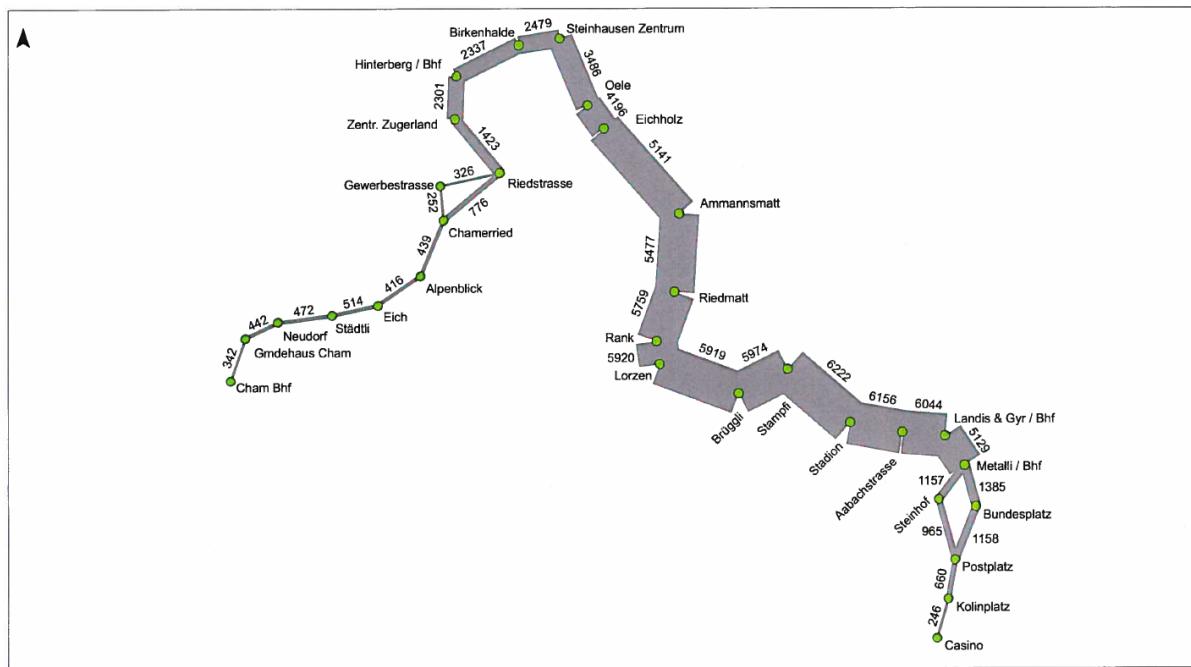


Abbildung 13: Beispiel für die verwendeten Nachfragedaten – mittlerer Werktagsverkehr auf der Linie 6, auf Basis Struktur 2010 / Querschnittszählung 2011 (Quelle: [ZVB 2012, Abb. „Linie 6“])

Diese Daten dienten im Rahmen dieser Studie als Grundlage für sämtliche Untersuchungen betreffend Nachfrage, Takt, Gefässgrösse usw.

4.3 Schematische Nachfragekarten

4.3.1 IST- Querschnittsnachfrage

Für die wichtigsten Korridore im Gebiet Rotkreuz – Cham – Steinhausen – Barr sowie Ägerital wurden die Querschnittsbelastungen (beide Richtungen) der einzelnen Buslinien des heutigen Netzes überlagert und in einer schematischen Karte dargestellt. In Abbildung 14 sind Abschnitte mit einer Querschnittsnachfrage von mehr als 5000 Personen / Tag (beide Richtungen) orange hervorgehoben, wodurch sich die nachfragestärksten Netzteile identifizieren lassen.

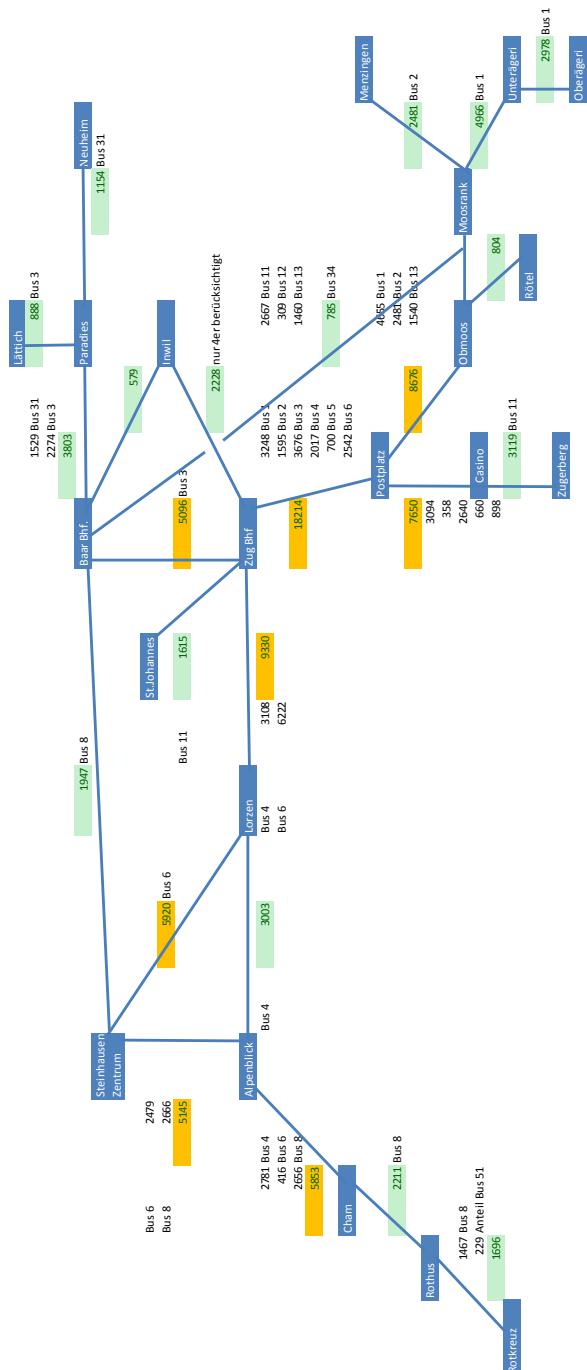


Abbildung 14: Schematische Nachfragekarte der heutigen Querschnittsnachfrage; orange: Abschnitte mit einer Querschnittsnachfrage von mehr als 5000 Pers. / Tag (beide Richtungen)

4.3.2 Zukunfts- Querschnittsnachfrage mit pauschalem Wachstum

Gemäss Auftrag wurde für die Analyse der Angemessenheit eines Tramsystems ein pauschales Nachfragewachstum von 100% als Grundlage verwendet. Die entsprechende Nachfragestruktur ist in Abbildung 15 dargestellt.

Zusätzlich zu den bereits heute sehr stark ausgelasteten Netzteilen erreichen auch das Ägerital sowie die Abschnitte Baar – Paradies, Lorzen – Alpenblick und Casino – Zugerberg den Nachfragewert von 5000 Personen / Tag (beide Richtungen).

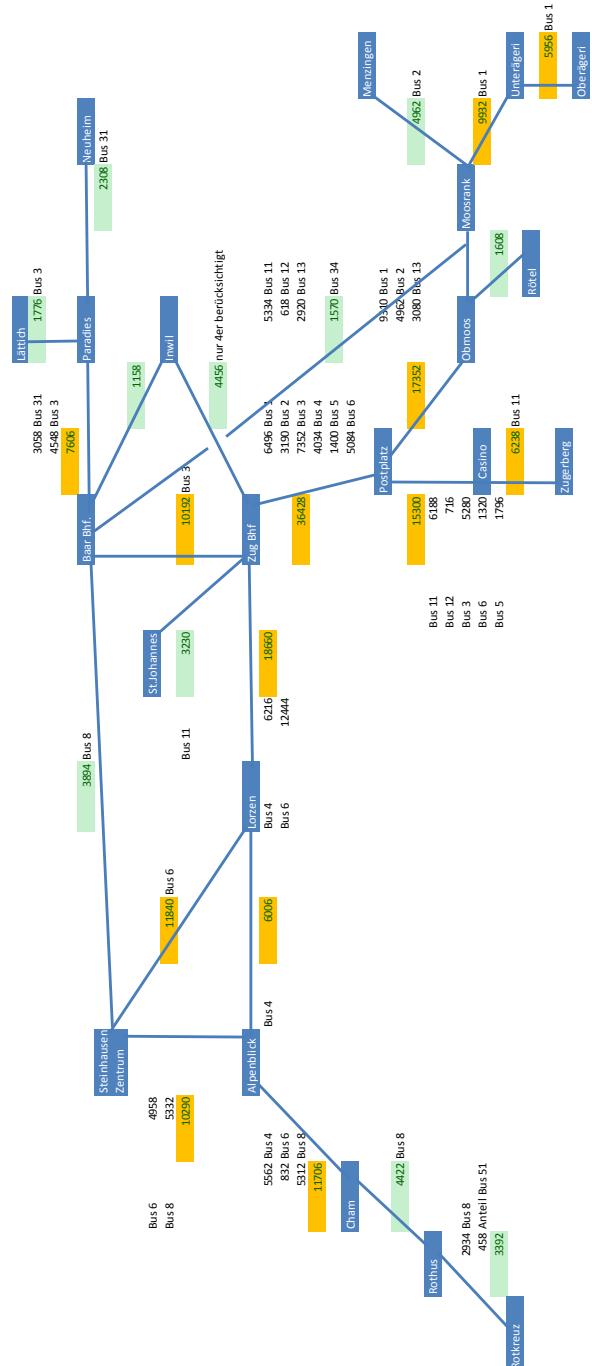


Abbildung 15: Schematische Nachfragekarte der künftigen Querschnittsnachfrage mit pauschalem Wachstum (IST + 100%); orange: Abschnitte mit einer Querschnittsnachfrage von mehr als 5000 Pers. / Tag (beide Richtungen)

4.3.3 Zukunfts- Querschnittsnachfrage mit differenziertem Wachstum

Ein pauschales Wachstum von 100% erscheint aufgrund der durchgeföhrten Analyse der künftigen Raumentwicklung (siehe Kapitel 3.3) als zu wenig differenziert und könnte zu Fehlschlüssen föhren. Das Wachstum wird vielmehr nicht gleichmässig, sondern in einigen Bereichen stärker als in anderen verlaufen. Im Rahmen dieser Arbeit konnte das künftige Wachstum nicht detailliert modelliert werden; allerdings sollte trotzdem eine etwas differenziertere Nachfrage als Grundlage verwendet werden. Den einzelnen Korridoren der schematischen Nachfragekarte wurde je ein Wachstum von 70, 100 oder 130 % zugewiesen, je nach zu erwartender Entwicklungsdynamik in den jeweils betroffenen Gebieten (insb. Lage der Verdichtungsgebiete). So wird im Ägerital kaum ein prozentual gleich starkes Wachstum wie in den Gebieten südlich des Zentrums von Steinhausen stattfinden.

Abbildung 16 zeigt, dass mit einem solchen differenzierten Wachstum in der Tendenz dieselben Abschnitte am stärksten belastet sind.

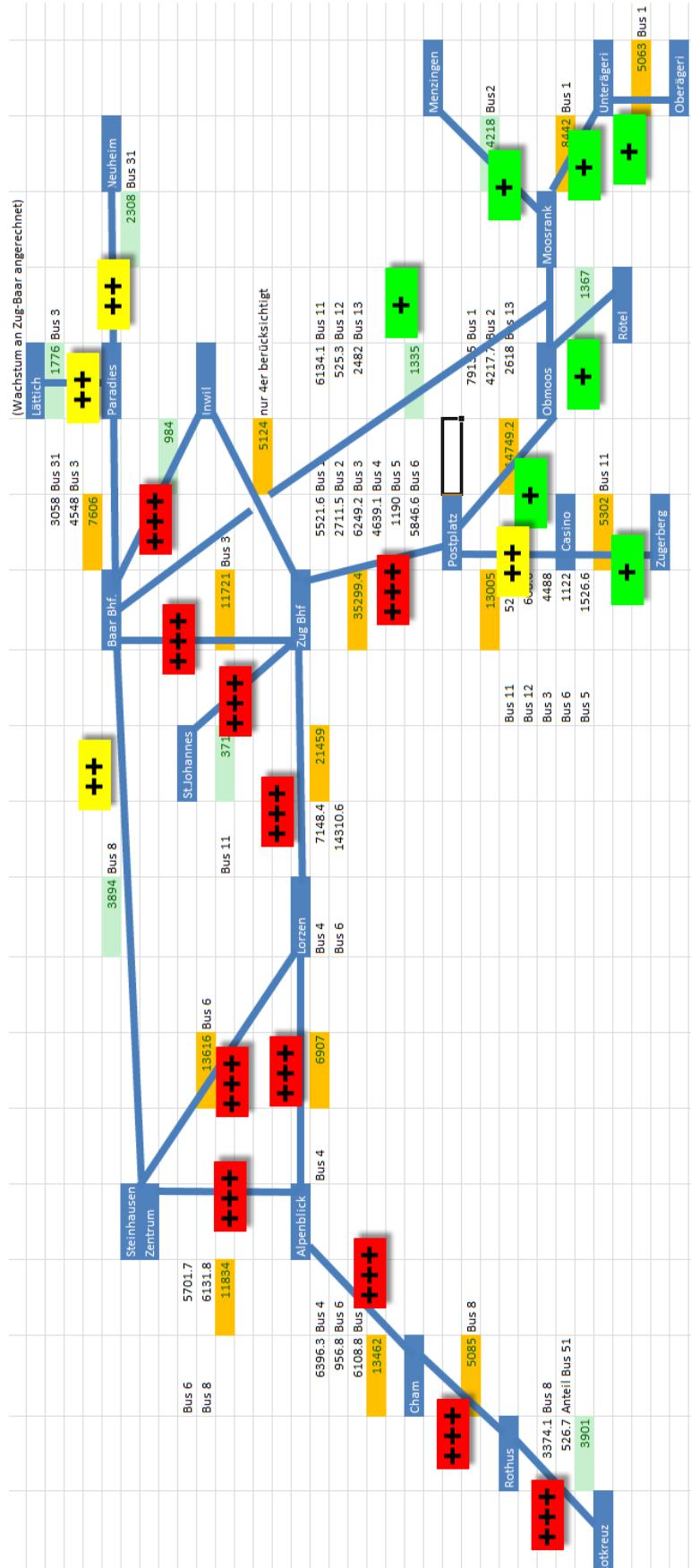


Abbildung 16: Schematische Nachfragekarte der künftigen Querschnittsnachfrage mit differenziertem Wachstum je Abschnitt +: +70%, ++: +100%, +++: +130%); orange: Abschnitte mit einer Querschnittsnachfrage von mehr als 5000 Pers. / Tag (beide Richtungen)

4.4 Erste Netzbetrachtung aufgrund der Nachfrageanalyse

4.4.1 Vorbemerkung

Bei der Auswertung der Querschnittsnachfrage pro Abschnitt in den schematischen Nachfragekarten (siehe Kapitel 4.3) wurde ein Grenzwert von 5000 Personen / Tag (beide Richtungen) verwendet, um die am stärksten belasteten Abschnitte des Netzes zu identifizieren. Im Folgenden werden zwei solche Grenzwerte für einen künftigen Zustand spezifisch für die betrachteten Systeme BRT und Tram hergeleitet. Diese Grenzwerte erlaubten es, eine erste grobe Einschätzung hinsichtlich der zu berücksichtigenden Netzabschnitte des Hauptnetzes gemäss Richtplan für ein allfälliges künftiges BRT- oder Tramnetz vorzunehmen. Dafür wurden auch diejenigen Korridore des Hauptnetzes gemäss Richtplan berücksichtigt, welche in den schematischen Nachfragekarten nicht enthalten sind.

4.4.2 Herleitung der Nachfrage-Grenzwerte je System

Für diese erste grobe Betrachtung wurde ein Abschnitt nur dann für ein System berücksichtigt, wenn die entsprechende künftige Querschnittsnachfrage mit differenziertem Wachstum während der Spitzenstunde bei einem 15-Minuten Takt zu einem vollen Fahrzeug führt. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, ist das entsprechende System basierend auf der Nachfrage auf dem betreffenden Abschnitt sicher nicht angemessen, denn es besteht keine genügende Nachfrage.

Dafür wurde die Bemessungsnachfrage für die Spitzenstunde und die Kapazität der Fahrzeuge benötigt. Die Berechnung der erstenen wird eingehend in Kapitel 8.2.3 erläutert, die Fahrzeugkapazität in Kapitel 8.2.4. Es wurde angenommen, dass beim BRT-Netz Doppelgelenkbusse zum Einsatz kommen.

Die so ermittelten Grenzwerte betragen:

BRT: 5000 Personen / Tag (beide Richtungen)

Tram: 8000 Personen / Tag (beide Richtungen)

Zusätzlich wurden diejenigen Abschnitte separat aufgeführt, welche eine Querschnittsnachfrage von mindestens 75 Prozent des jeweiligen Grenzwertes aufweisen (3750 Personen / Tag bei BRT, 6000 Personen / Tag bei Tram).

4.4.3 Anwendung auf das Hauptnetz gemäss kantonalem Richtplan

Abbildung 17 zeigt die Anwendung des Grenzwertes für ein allfälliges BRT-Netz auf das Hauptnetz gemäss kantonalem Richtplan, Abbildung 18 zeigt die äquivalente Betrachtung für ein allfälliges Tramnetz.

Dieses Vorgehen gab einen ersten Überblick darüber, welche Abschnitte aus einer auf die Nachfrage fokussierten Perspektive überhaupt für ein BRT- oder Tramnetz in Frage kämen, erlaubte aber keine Aussage darüber, ob ein entsprechender Systemwechsel notwendig und / oder insgesamt angemessen wäre.

Zudem war es wichtig, „wegfallende“ Korridore noch nicht aus den Überlegungen auszuschliessen, können doch auch weitere Aspekte, z.B. eine gute Netzbildung, entscheidend sein.

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

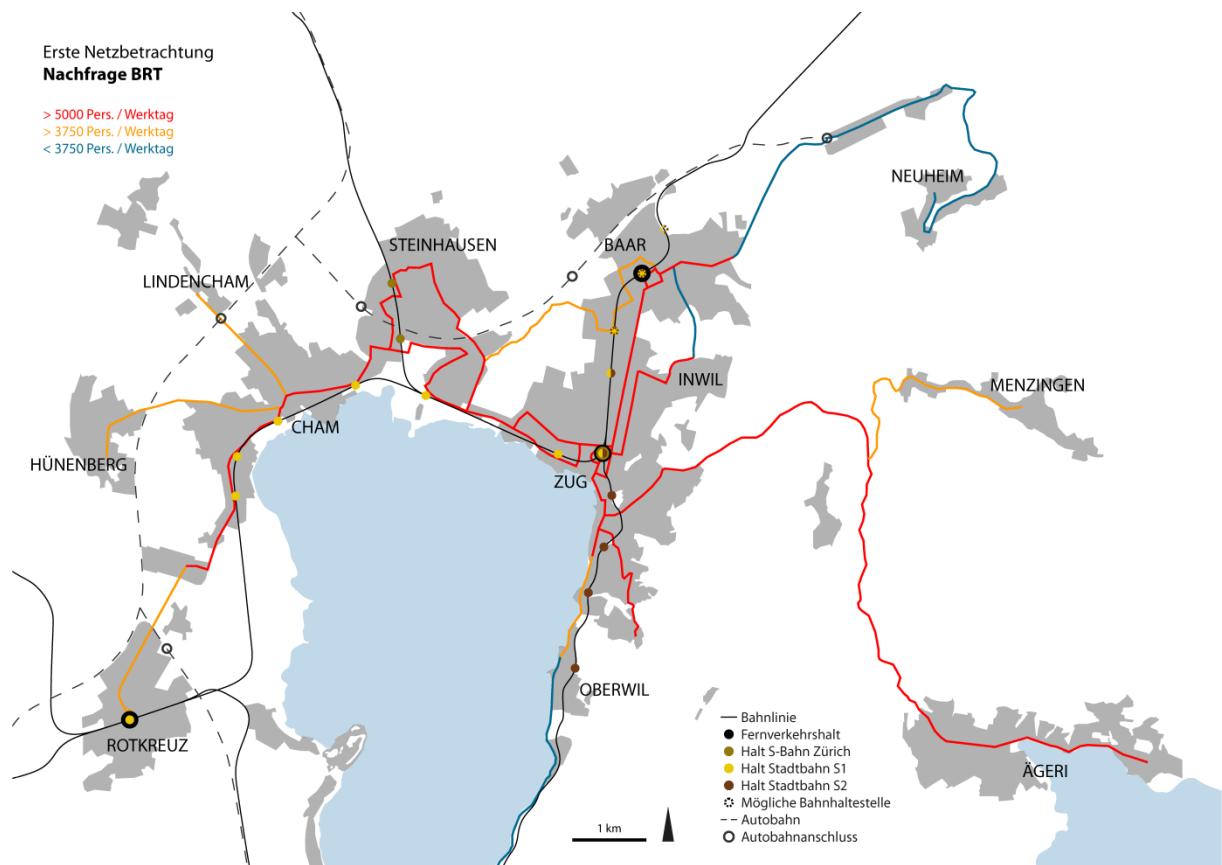


Abbildung 17: Erste Netzbetrachtung aufgrund der Nachfrage – BRT

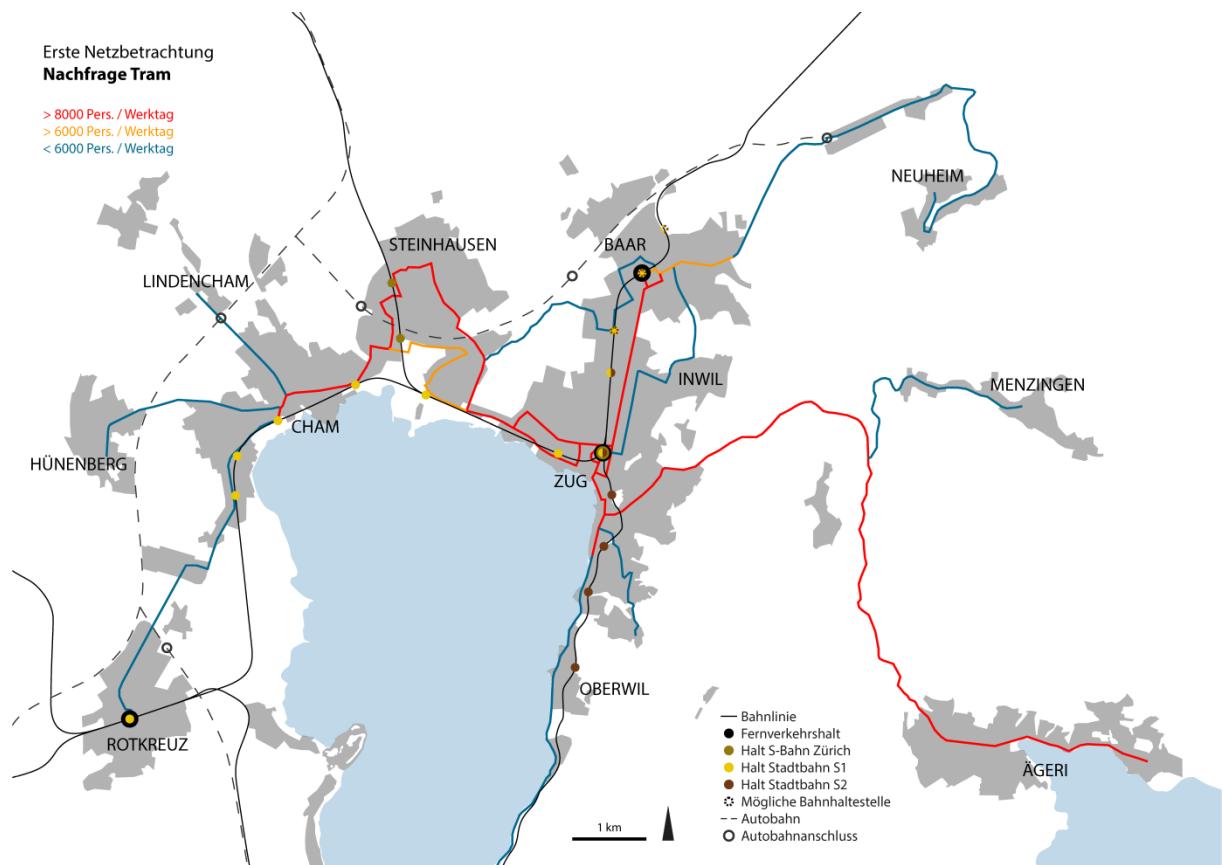


Abbildung 18: Erste Netzbetrachtung aufgrund der Nachfrage – Tram

4.5 Vertiefte Untersuchungen

4.5.1 Vertiefte Untersuchung der Relation Steinhausen – Baar

Die Relation Steinhausen – Baar (Strecke Ammannsmatt – Bahnhof Baar) weist eine relativ geringe Nachfrage auf. Bei ersten Variantenbildungsversuchen zeigte sich jedoch, dass sie bei gewissen Konfigurationen eine wichtige Rolle für die Netzbildung übernehmen kann. Aus diesem Grund wurde das Nachfragepotenzial anhand der Nachfragedaten des Busnetzes für diese Relation zusätzlich mit der Situation im MIV verglichen. Dafür wurden Daten des kantonalen Verkehrsmodells Zug für das Jahr 2010 ausgewertet [EBP 2012a]. Dessen Zonen wurden zu grösseren zusammenhängenden Gebieten zusammengefasst, anschliessend wurden die Nachfragepotenziale Steinhausen – Cham, Steinhausen – Zug und Steinhausen – Baar inklusive weiterführender Verbindungen (z.B. Steinhausen – Hünenberg = Potenzial von Steinhausen Richtung Cham) verglichen. Dabei wurden die MIV-Fahrten während der Werktags-Morgenspitzenstunde in Hauptlastrichtung verwendet. Abbildung 19 zeigt die zusammengefasst Zonen, Abbildung 20 die Auswertung der Nachfrage für MIV und ÖV. Die Zahlen für MIV und ÖV sind nicht direkt vergleichbar, sehr wohl aber das jeweilige relative Gewicht der Relationen. Es zeigte sich, dass die Relation Steinhausen – Baar beim MIV ein höheres relatives Gewicht einnimmt als beim ÖV.

Die Relation Steinhausen – Baar sollte folglich trotz der heute geringen ÖV-Nachfrage (siehe Kapitel 4.4) weiter als Bestandteil eines allfälligen BRT- oder Tramnetzes in Betracht gezogen werden.

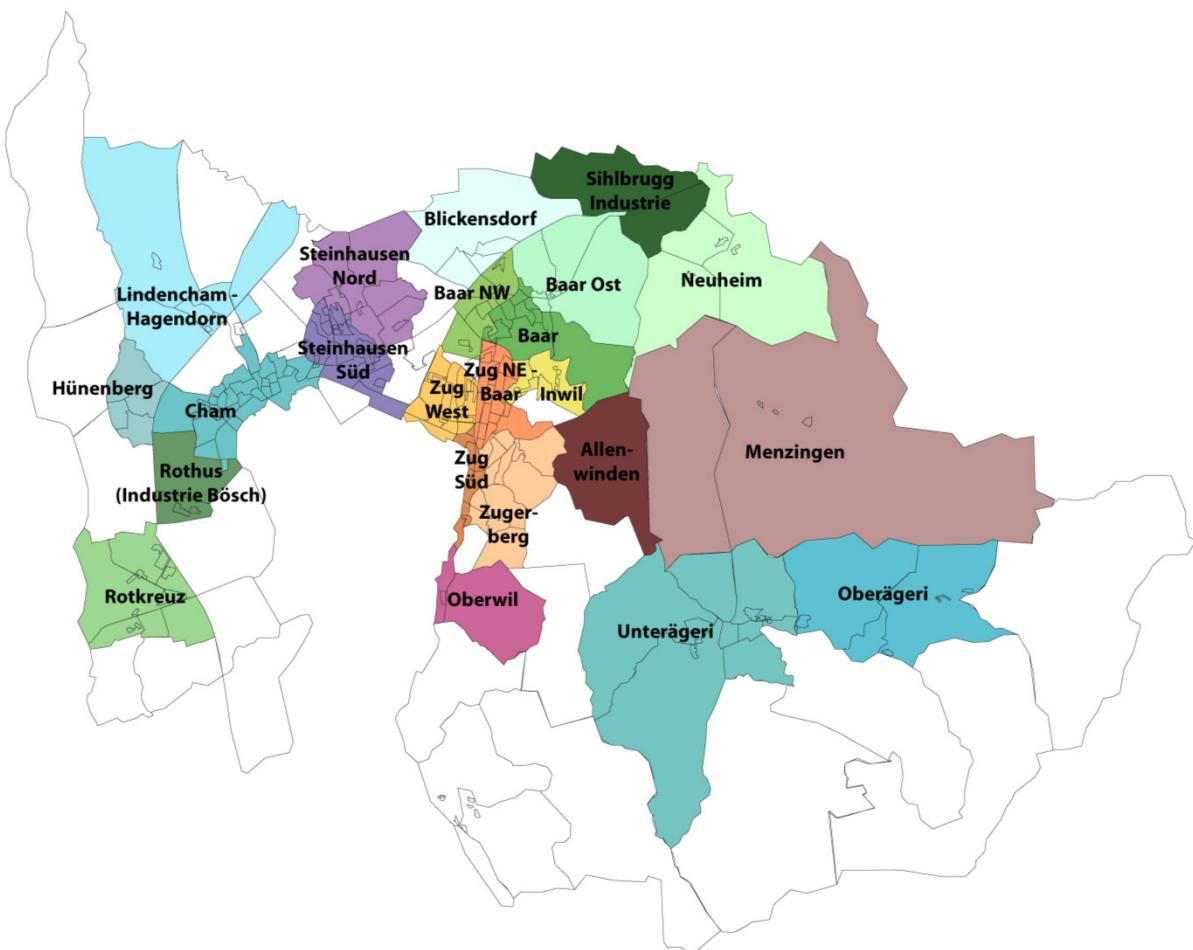
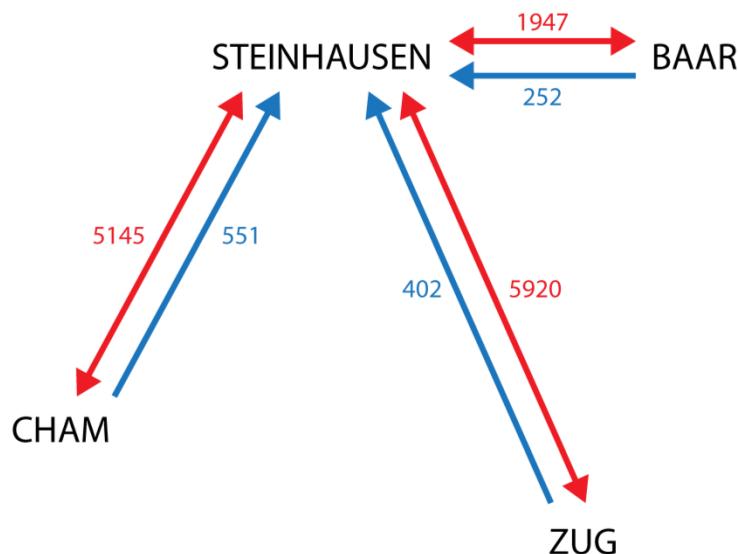


Abbildung 19: Zusammenfassung der Zonen des kantonalen Verkehrsmodells (Grundlage: [EBP 2012b])



MIV: Anzahl Fahrten Morgenspitzenstunde (Hauptlastrichtung)
 ÖV: DWTW massgebender Querschnitt (beide Richtungen)

Abbildung 20: Auswertung des Nachfragepotenzials der Relation Steinhausen – Baar im Vergleich mit den Relationen Steinhausen – Cham und Steinhausen – Zug für MIV (Fahrten Morgenspitzenstunde (Werktag), Hauptlastrichtung, 2010) und ÖV (DWTW, beide Richtungen, 2011) (Grundlagen: [EBP 2012a], [ZVB 2012])

4.5.2 Struktureigenschaften der Linie 6

Stellvertretend für zahlreiche Buslinien, welche sowohl im dichten Siedlungsraum als auch auf Überlandstrecken verkehren, wurde die Verteilung der Nachfrage auf verschiedene Kurse bei der Linie 6 untersucht. Als Basis dienten Daten der ZVB zur Frequenzverteilung auf der Linie 6 zwischen Chamerried und Landis&Gyr im Zeitraum vom 1. Januar bis 30. Juni 2012 [Gächter 2012]. Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Anzahl Bahnanschlüsse ab Zug innerhalb von 5, 10 und 15 Minuten ab Ankunft eines Kurses und der durchschnittlichen Frequenz pro Kurs besteht. Abbildung 21 zeigt die ausgewerteten Kurse, Abbildung 22 die relevanten Abfahrten vom Bahnhof Zug.

Kurs	Von – Nach	Ankunft	Durchschnittliche Frequenz pro Kurs
6009	Chamerried – Landis & Gyr	06:44	58
6011	Chamerried – Landis & Gyr	06:54	58
6013	Chamerried – Landis & Gyr	07:02	57
6015	Chamerried – Landis & Gyr	07:14	82
6017	Chamerried – Landis & Gyr	07:17	58
6019	Chamerried – Landis & Gyr	07:24	82
6021	Chamerried – Landis & Gyr	07:32	66
6047	Chamerried – Landis & Gyr	09:47	45
6049	Chamerried – Landis & Gyr	10:02	37

Abbildung 21: Ausgewertete Kurse der Linie 6 (Quelle: [Gächter 2012])

Zeit	Linie	Ziel	Bemerkung
06:51	S1	Baar	
06:52	S1	<i>Luzern</i>	<i>via Chollermüli – Cham</i>
06:54	S2	<i>Baar Lindenpark</i>	<i>nur 1 Halt</i>
06:58	IR	Zürich	
07:02	IR	Luzern	
07:02	S21	Zürich	
07:05	S2	Erstfeld	
07:06	S1	Baar	
07:06	S1	<i>Rotkreuz</i>	<i>via Chollermüli – Cham</i>
07:08	S9	Zürich	<i>via Steinhausen</i>
07:18	S2	<i>Baar Lindenpark</i>	<i>nur 1 Halt</i>
07:20	S24	Zürich	
07:20	S1	<i>Rotkreuz</i>	<i>via Chollermüli – Cham</i>
07:21	S1	Baar	
07:27	ICN	Lugano	
07:29	ICN	Zürich	
07:29	IR	Luzern	
07:31	EC	Milano	
07:31	IR	Zürich - Zürich Flughafen	
07:32	IC	Zürich	
07:35	S21	Zürich	
07:36	S1	<i>Luzern</i>	<i>via Chollermüli – Cham</i>
07:37	S1	Baar	
07:38	S9	<i>Zürich - Uster</i>	<i>via Steinhausen</i>
07:39	S2	Walchwil	
09:51	S1	Baar	
09:52	S1	<i>Luzern</i>	<i>via Chollermüli - Cham</i>
09:54	S2	<i>Baar Lindenpark</i>	<i>nur 1 Halt</i>
09:58	IR	Zürich	
10:02	IR	Luzern	
10:05	S2	Erstfeld	
10:06	S1	Baar	
10:06	S1	<i>Rotkreuz</i>	<i>via Chollermüli - Cham</i>
10:08	S9	<i>Zürich - Uster</i>	<i>via Steinhausen</i>

Abbildung 22: Abfahrtstabelle (Werktag) Bahnhof Zug, für die Analyse der Frequenzen auf Linie 6; kursiv: nicht berücksichtigt (Begründung siehe Spalte „Bemerkung“) (Quelle: [SBB 2012])

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

Die durchschnittliche Frequenz pro Kurs wurde gegen die Anzahl Verbindungen unterschiedlichen Typs ab Bahnhof Zug innerhalb eines bestimmten Intervalls aufgetragen:

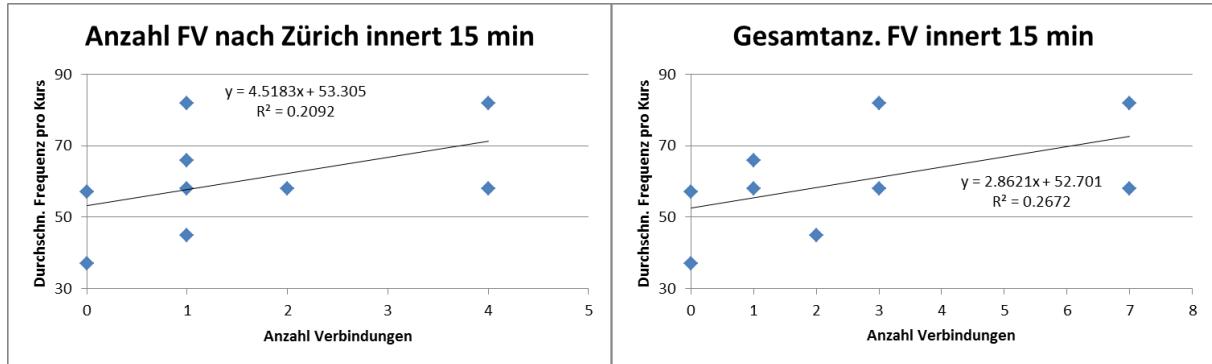


Abbildung 23: Anzahl Fernverkehrsverbindungen von Zug nach Zürich (links) respektive Gesamtanzahl Fernverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 15 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

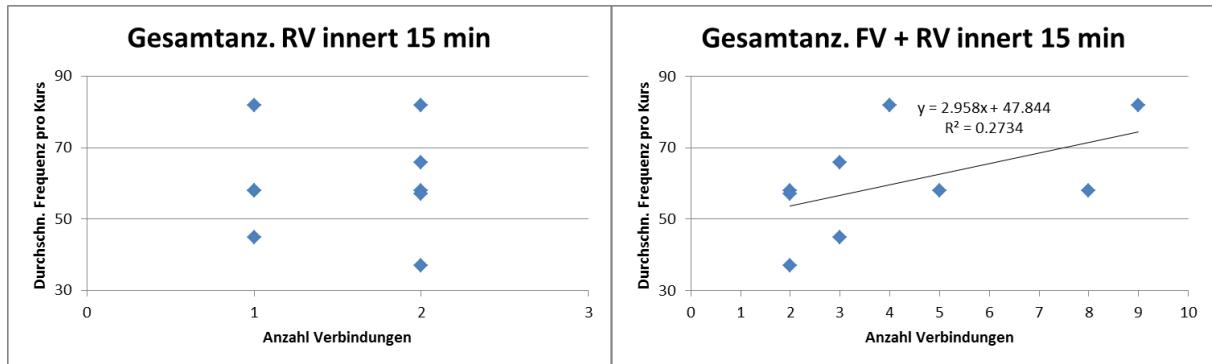


Abbildung 24: Gesamtanzahl Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (links) respektive Gesamtanzahl Fernverkehrs- und Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 15 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

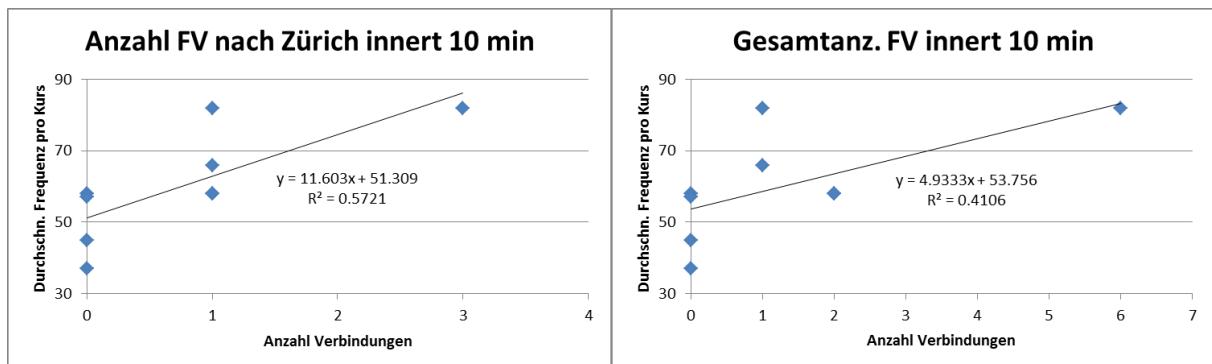


Abbildung 25: Anzahl Fernverkehrsverbindungen von Zug nach Zürich (links) respektive Gesamtanzahl Fernverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 10 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

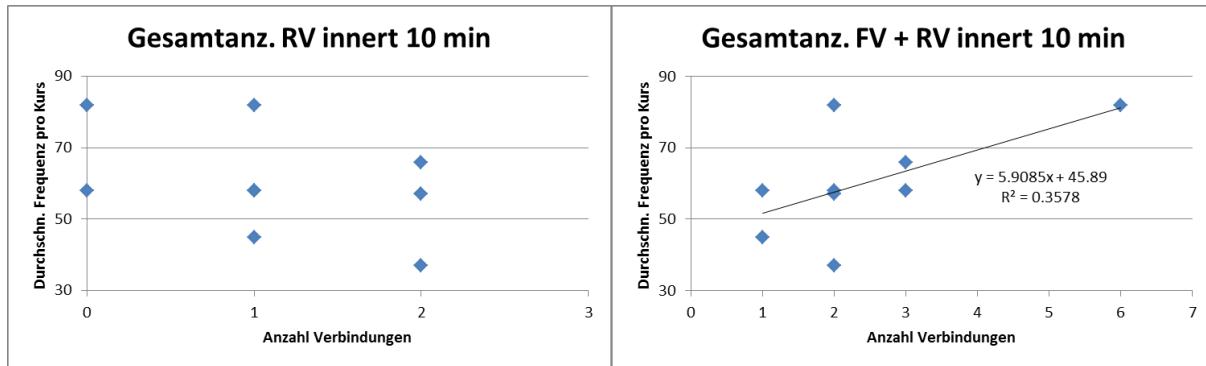


Abbildung 26: Gesamtzahl Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (links) respektive Gesamtzahl Fernverkehrs- und Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 10 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

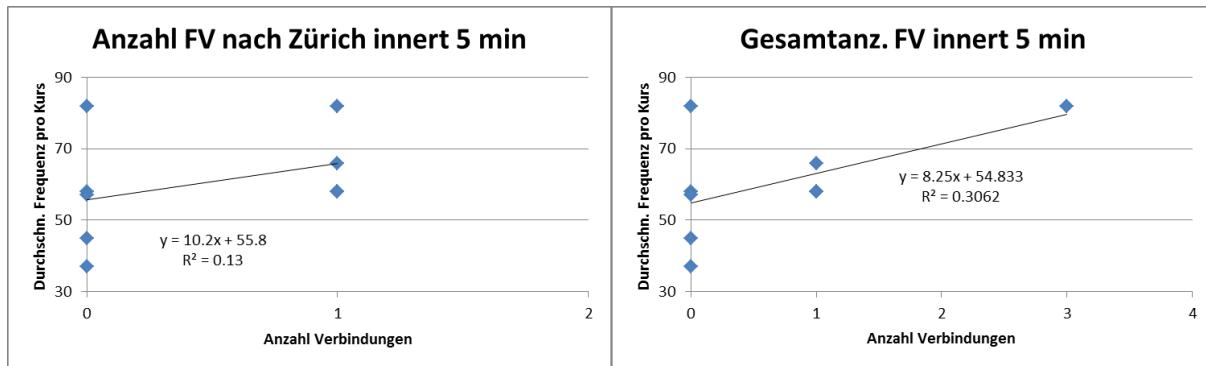


Abbildung 27: Anzahl Fernverkehrsverbindungen von Zug nach Zürich (links) respektive Gesamtzahl Fernverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 5 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

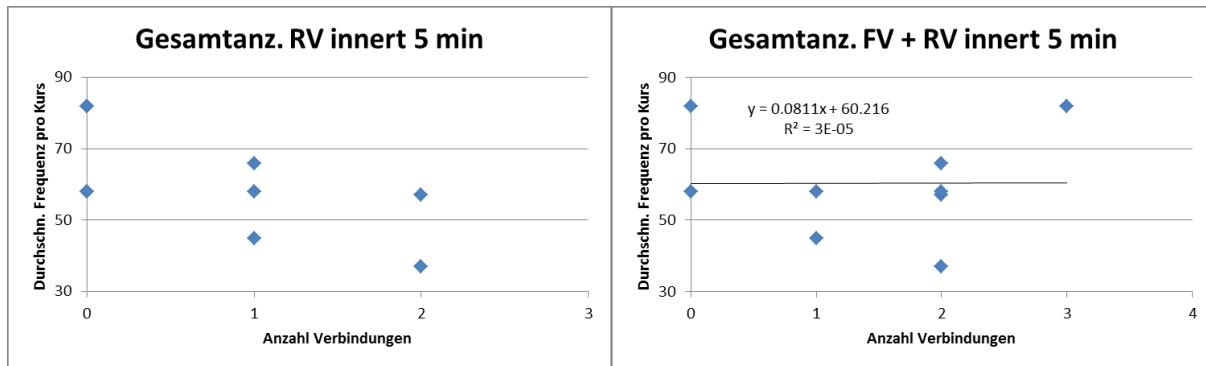


Abbildung 28: Gesamtzahl Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (links) respektive Gesamtzahl Fernverkehrs- und Regionalverkehrsverbindungen ab Zug (rechts) innert 5 Minuten ab Ankunft des Kurses an der Haltestelle Landis & Gyr vs. durchschnittliche Frequenz pro Kurs

Ein Zusammenhang zwischen der Anzahl Verbindungen und der durchschnittlichen Frequenz pro Kurs ist für alle drei Zeitintervalle beim Fernverkehr erkennbar, nicht aber beim Regionalverkehr. Zudem bestehen zahlreiche Ausreisser und die Menge an Daten ist sehr klein. Trotzdem lässt sich folgern, dass die Verbindung Steinhäusen – Zug stark auf den Fernverkehr ausgerichtet ist. Die durchschnittliche Frequenz beträgt aber selbst beim Kurs 6013, der innert 15 Minuten keinen einzigen Fernverkehrsanschluss in Zug aufweist, noch 57 Personen (Mittelwert der Kurse 6009 – 6021: 65.9 Personen). Der Effekt ist also vorhanden, aber nicht dominant. Folglich lässt sich die Zweckmässigkeit von dichteren Taktfolgen als heute nicht grundsätzlich ausschliessen.

5. Variantenaufbauprinzipien

5.1 Generelles Vorgehen

Als Grundlage für den Entwurf der Varianten wurden Aufbauprinzipien festgelegt. Diese sollen ein nachvollziehbares Vorgehen beim Erarbeiten der Varianten sicherstellen und zeigen die grundsätzlichen Überlegungen hinter den Varianten. In gewisser Weise bestimmen sie deshalb die strategische Ausrichtung der Untersuchung und wurden deshalb in einer Zwischenbesprechung mit dem Auftraggeber validiert. In diesem Rahmen wurde ergänzend festgehalten, welche Ansätze aus welchen Gründen nicht weiterverfolgt werden sollen; zudem wurden weitere Randbedingungen definiert.

5.2 Aufbauprinzipien

5.2.1 Nachfragegerechter Netzaufbau

Der Netzaufbau soll nachfragegerecht sein. Die erste Netzbetrachtung aufgrund der Nachfrageanalyse und deren Anwendung auf das Hauptnetz gemäss Richtplan (siehe Kapitel 4.4.3) bildet die wichtigste Grundlage für den Variantenentwurf. Die in Abbildung 17 und Abbildung 18 gezeigten Bereiche mit grundsätzlich ausreichender Nachfrage für ein BRT- respektive Tramnetz bilden das Grundgerüst für die jeweiligen Netzentwürfe.

Weitere Abschnitte wurden in die Überlegungen mit einbezogen, wenn sie eine bessere Netzbildung erlaubten. Dies betrifft einerseits Abschnitte, welche eine Nachfrage von mindestens 75% des Grenzwertes erreichen, anderseits bei den Tramnetzvarianten auch die Relation Steinhausen – Baar (Strecke Ammannsmatt – Bahnhof Baar), welche bei gewissen Konfigurationen eine bessere Netzbildung erlaubt und zudem ein höheres Nachfragepotenzial vermuten lässt, als die Nachfragedaten nahelegen (siehe Analyse in Kapitel 4.5.1).

5.2.2 Vermeidung von Parallelverkehr

Parallelverkehr zwischen Stadtbahn und Feinverteiler ist möglichst zu vermeiden. Der Feinverteiler soll den Mittelverteiler Stadtbahn Zug ergänzen und nicht konkurrieren. Kürzere Parallelabschnitte sind aufgrund der Anschlussgewährleistung und der Kleinheit des Projektperimeters unumgänglich. Sie sind allerdings möglichst kurz zu halten.

5.2.3 Konfiguration des verbleibenden Busnetzes

Die Linienbildung ist so zu gestalten, dass allfällige verbleibenden Äste noch ein sinnvolles Angebot zulassen. So muss beispielsweise bei einem neu eingeführten Tramsystem das verbleibende Busnetz vernünftig konfiguriert werden können. Zu kurze Linienäste können kaum attraktiv und wirtschaftlich betrieben werden.

5.2.4 Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten

Ein neues, leistungsfähiges Feinverteilernetz soll jene Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete (gemäss Agglomerationsprogramm) erschliessen, welche nicht durch die Stadtbahn Zug oder S-Bahn abgedeckt werden.

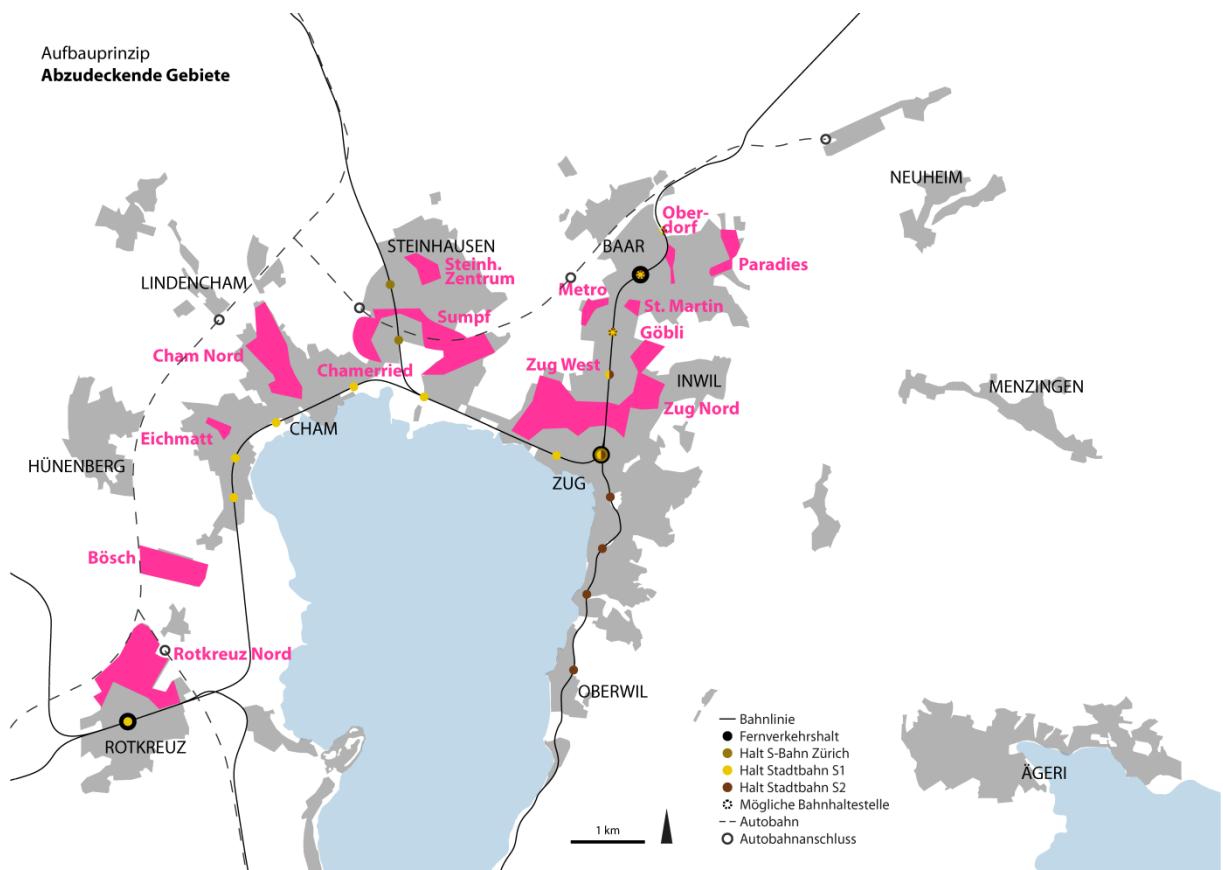


Abbildung 29: Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete (gemäss [Kanton Zug 2012d]), welche nicht direkt durch die Stadtbahn oder S-Bahn erschlossen sind.

5.2.5 Neue Relationen

Mittels einer gut gewählten Linienführung soll ein Mehrwert geschaffen werden, indem das Feinverteilernetz nicht dieselben Relationen anbietet wie die Stadtbahn. So kann trotz Parallelverkehrsabschnitten zur Stadtbahn ein zusätzlicher Kundennutzen generiert werden.

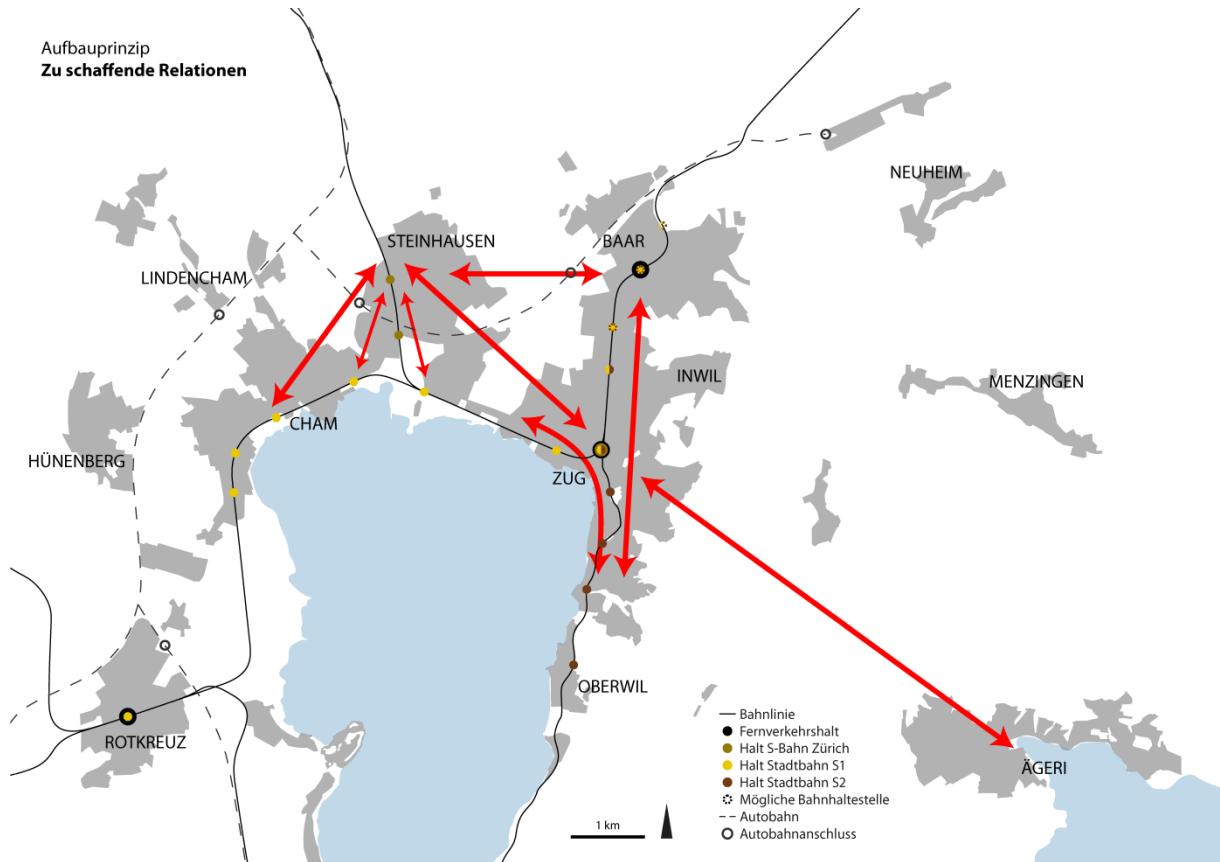


Abbildung 30: Relationen, welche durch die Stadtbahn Zug nicht bedient werden

Zu beachten ist, dass gewisse eingezeichnete Relationen zwar nicht durch die Stadtbahn Zug, wohl aber durch die Linie S9 der Zürcher S-Bahn (Halbstundentakt) abgedeckt werden (Chollermüli – Rigiblick – Bahnhof Steinhausen und Bahnhof Steinhausen – Bahnhof Zug). Zudem wird die Relation Zug Süd – Baar in Zukunft vermutlich durch die Stadtbahnlinie S2 abgedeckt (abhängig von Infrastrukturausbauten).

5.2.6 Integration

Das Feinverteilernetz soll möglichst gut ins Gesamtverkehrssystem integrierbar sein. So sollen möglichst viele Verbindungen mittels Vorwärtsanschlüssen aufgebaut werden. Des Weiteren sollen die Anschlussbeziehungen optimal gestaltbar (kurze Umsteigewege) und klar definierte Übergabepunkte ans übergeordnete Netz vorhanden sein.

5.2.7 Direkte Linienführung

Bei der Linienführung sollen Umwege möglichst vermieden werden.

5.2.8 Einfache Netzstruktur

Die Anzahl der Linien soll so klein wie möglich sein und die Nachfrage wo möglich gebündelt werden. Dies der Wirtschaftlichkeit, aber auch der intuitiven Verständlichkeit des Angebotes wegen.

5.3 Weitere Randbedingungen

5.3.1 Ausrichtung auf Zug

Das Netz wurde grundsätzlich auf Zug ausgerichtet. Zug hat heute im Betrachtungsperimeter die besten Fernverkehrsanschlüsse. Dies wird auch in den kommenden Jahren so verbleiben und Zug wird weiterhin die besseren Anschlüsse besitzen als beispielsweise Baar. In 50 Jahren könnte sich dies ändern, allerdings bestehen sehr viele Varianten für die zukünftige Strecken- und Linienführung. In einem kürzeren Horizont sind die Fernverkehrshalte in Baar eher gefährdet. Daher wurden folgende Aufbauprinzipien definiert:

- Das System ist auf Zug auszurichten, der Bahnhof Zug bildet den „Haupt-Hub“ der Region.
- Die wichtigste Verbindung von Steinhäusen führt nach Zug. Deshalb wurden keine Varianten gebildet, welche beispielsweise die Beziehung Steinhäusen – Baar, nicht aber Steinhäusen – Zug für ein neues Feinverteilernetz berücksichtigen. Die Verbindung Steinhäusen - Baar könnte ein gewisses Potenzial aufweisen, dieses dürfte aber massgeblich von der erreichten Geschwindigkeit abhängen (im Vergleich mit der Verbindung via Zug).

5.3.2 Stärkstes Potenzial

Das stärkste Nachfrage-, aber auch Wachstumspotenzial liegt eindeutig im Raum westlich von Zug; deshalb soll die Relation Zug – Steinhäusen oder Zug – Chamerried (über Sumpfstrasse) immer berücksichtigt werden. Entsprechend wurden keine Varianten berücksichtigt, welche beispielsweise das Ägerital sowie die Beziehung Zug – Baar, aber keine Relation westlich von Zug beinhalten.

5.3.3 Anbindung

Fein- und Mittelverteiler (Stadtbahn) müssen als Gesamtsystem funktionieren und sich ergänzen. Es werden folgende zusätzlichen Kriterien festgelegt:

- Die Hauptlinien des Feinverteilers sollen grundsätzlich an einem starken Hub enden (Bahnhöfe Zug, Baar, Cham, Rotkreuz und evtl. Steinhäusen). Insbesondere bei einem Tramnetz sollen auch die Buslinien nicht an verschiedenen Punkten an die Tramlinie anschliessen, sondern zu einem Hub weitergezogen werden.
- Neue, zusätzliche Hubs sind nur zu schaffen, wenn sie einen bedeutenden Mehrwert generieren. Entsprechend müssen auch nicht alle Stadtbahnhalte an ein neues Feinverteilernetz angeschlossen werden.

6. Varianten

6.1 Vorgehen

Die Varianten für die Systeme BRT und Tram sollen möglichst viele Möglichkeiten einer Netzbildung und Abdeckung abbilden. Sie folgen den postulierten Aufbauprinzipien (siehe Kapitel 4.5.2). Allerdings können niemals alle Prinzipien vollständig eingehalten werden. Vielmehr stellen die verschiedenen Varianten Möglichkeiten der Annäherung an die Prinzipien dar, in einer späteren Bewertung sollen Abweichungen entsprechend berücksichtigt werden.

In einem ersten Schritt wird erläutert, wie die geographische Ausdehnung der entworfenen Netze eingeschränkt und wie der Korridorverlauf festgelegt wird. Danach folgen die einzelnen Varianten, gegliedert nach System und Anzahl Kernlinien. Zum Schluss folgt die Variante Busplus, basierend auf dem heutigen Bussystem.

6.2 Betrachtetes Netz und Verlauf der Korridore

Für die Varianten wurde nur ein Teil des Hauptnetzes gemäss Richtplan betrachtet. Das betrachtete Netz deckt die gemäss Auftrag zu berücksichtigenden Korridore Rotkreuz – Cham – Steinhausen – Zug – Baar sowie das Ägerital ab und orientiert sich grösstenteils an der ersten Netzbetrachtung aufgrund der Nachfrageanalyse (siehe Kapitel 4.4) sowie weiteren Analysen (insbesondere Kapitel 4.5). Das betrachtete Netz stellt die maximale Ausdehnung eines neuen, leistungsfähigen Feinverteilersystems dar.

Bei sämtlichen Varianten wurde eine Abdeckung dieses betrachteten Netzes sichergestellt. Für Netzteile, welche nicht Teil des jeweiligen Kernnetzes (Tram oder BRT) sind, kamen sogenannte Ergänzungslinien zum Einsatz. Dabei handelt es sich um konventionelle Buslinien.

Dieses Vorgehen erlaubt den späteren Vergleich zwischen den Varianten hinsichtlich Kosten, Relationen usw. Würden nur die Linien des jeweiligen Kernsystems (Tram oder BRT) betrachtet, wäre ein Vergleich beispielsweise der Betriebskosten nicht aussagekräftig, da sie vor allem von der Grösse des Kernnetzes, aber weniger vom System abhängen würden.

Das betrachtete Netz entspricht daher nicht dem Hauptnetz des kantonalen Richtplans [Kanton Zug 2011], sondern ist vielmehr eine Untermenge davon. Das Hauptnetz gemäss kantonaalem Richtplan beinhaltet auch Korridore, für die ein leistungsfähiges neues System (Tram oder BRT) aus Nachfragegründen von vorneherein nicht in Frage kommt (siehe Kapitel 5.2).

Eine erste Schlussfolgerung aus den gezeigten Varianten ist, dass jene Korridore des Hauptnetzes gemäss kantonaalem Richtplan, welche nicht Bestandteil des betrachteten Netzes sind, mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht für ein neues Feinverteilersystem in Frage kommen und dass hier auf eine Korridorfreihaltung verzichtet werden kann.

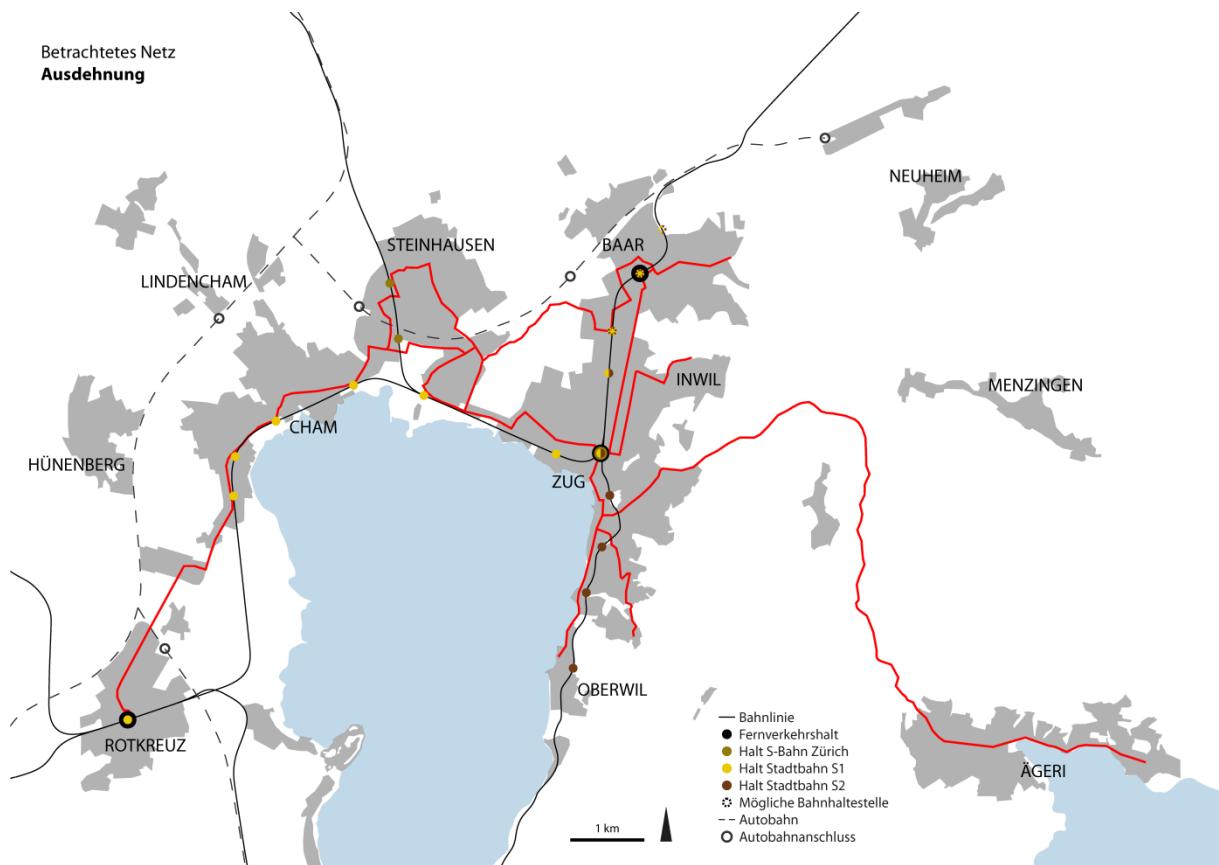


Abbildung 31: Betrachtetes Netz

Der Verlauf der Korridore um den Bahnhof Zug und durch die Zuger Altstadt ist schematisch zu verstehen. Mit dem Projekt Stadttunnel Zug (siehe Kapitel 3.5) wird sich die Verkehrsführung hier grundsätzlich verändern. Im Rahmen des Projektes Stadttunnel wurden zahlreiche Varianten einer möglichen Linienführung für Busse und / oder Trams untersucht [Kanton Zug 2012e]; zum heutigen Zeitpunkt ist keine genauere Aussage zur möglichen Linienführung möglich, aber auch nicht nötig.

6.3 Tram

6.3.1 1 Kernlinie

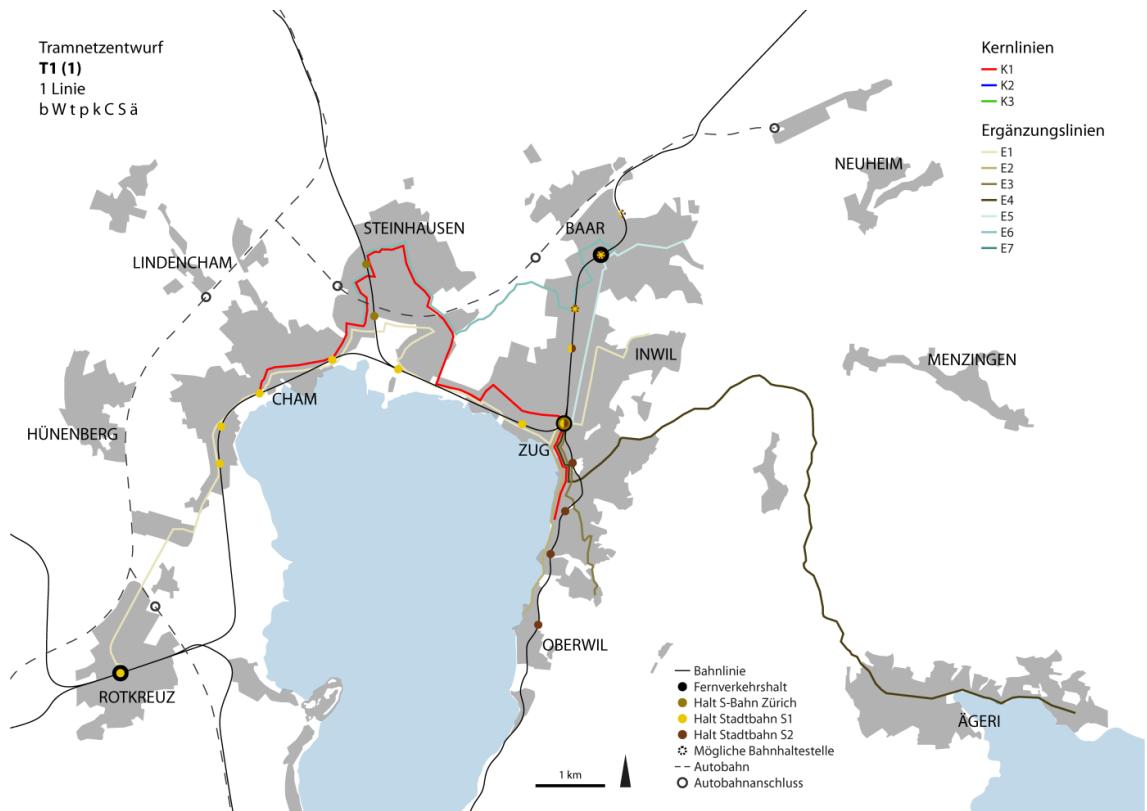


Abbildung 32: Variante T1 (1)

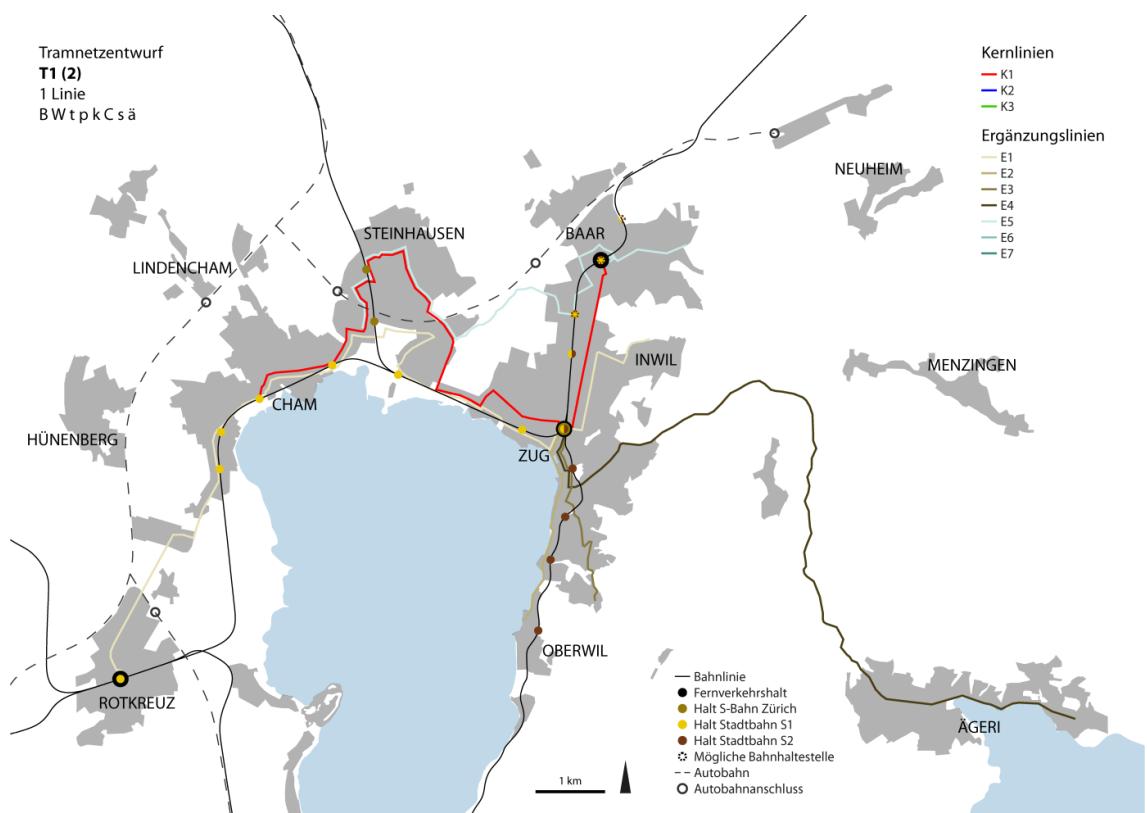


Abbildung 33: Variante T1 (2)

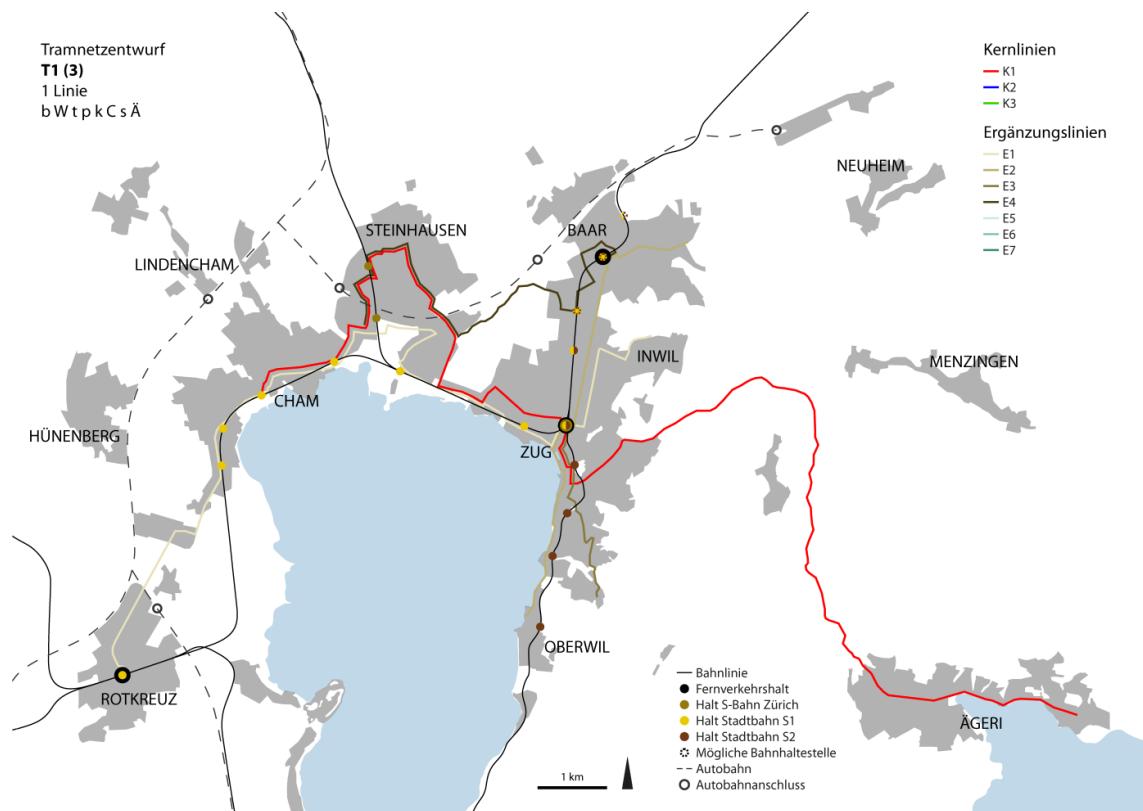


Abbildung 34: Variante T1 (3)

6.3.2 2 Kernlinien

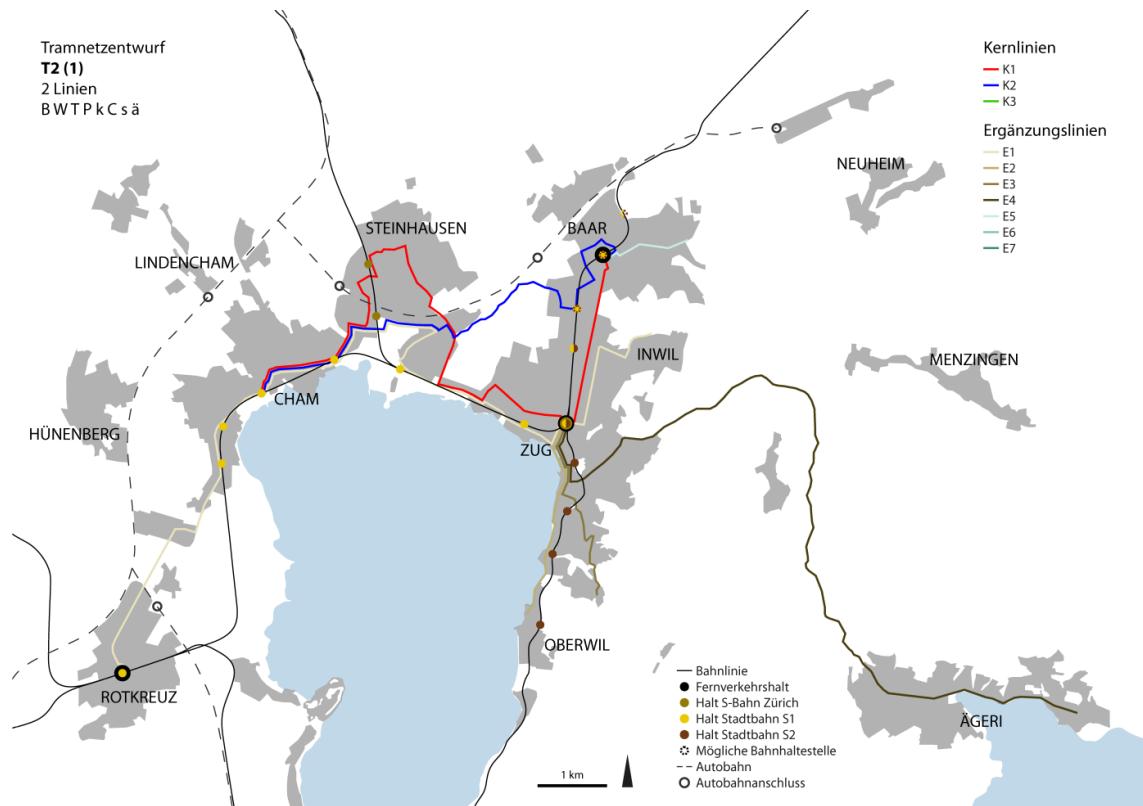


Abbildung 35: Variante T2 (1)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

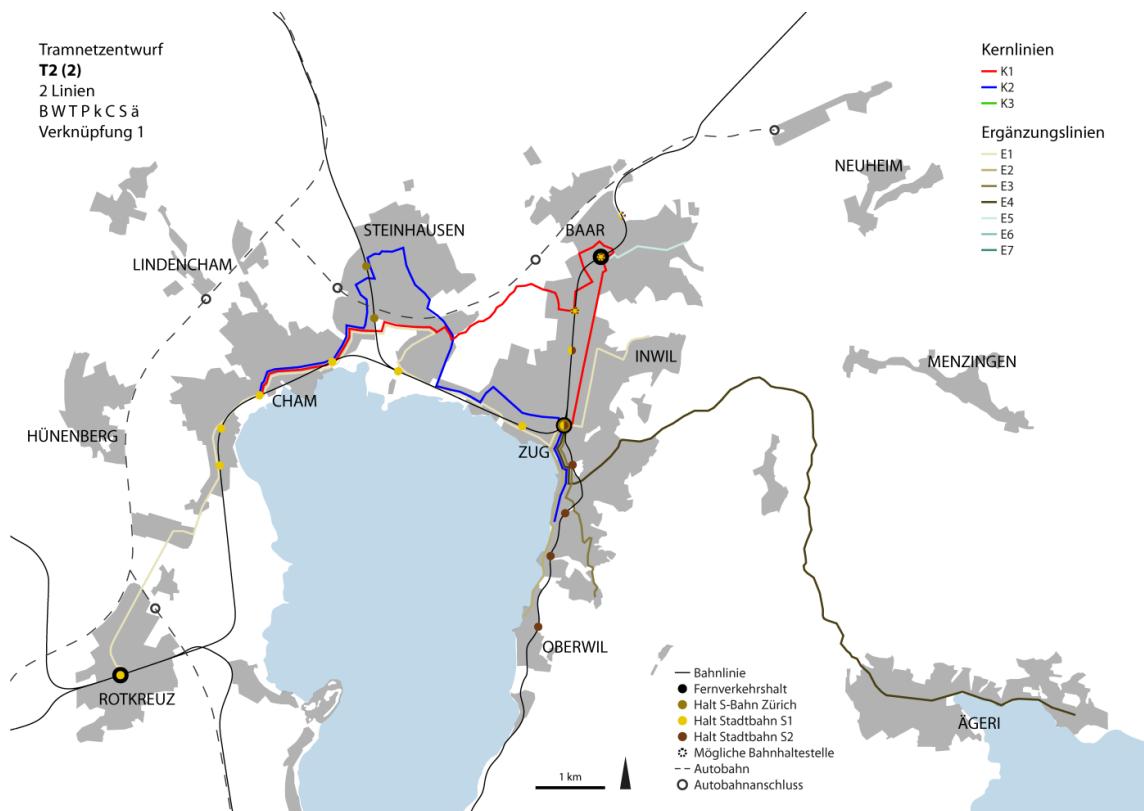


Abbildung 36: Variante T2 (2)

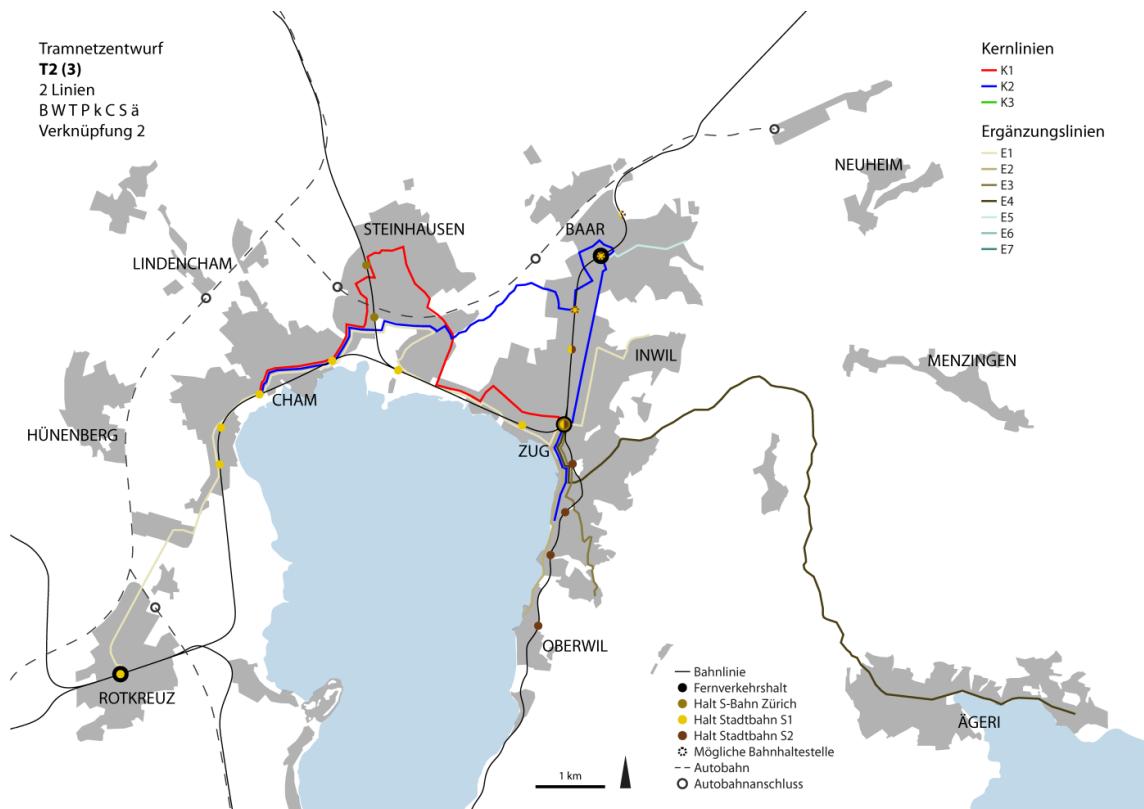


Abbildung 37: Variante T2 (3)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

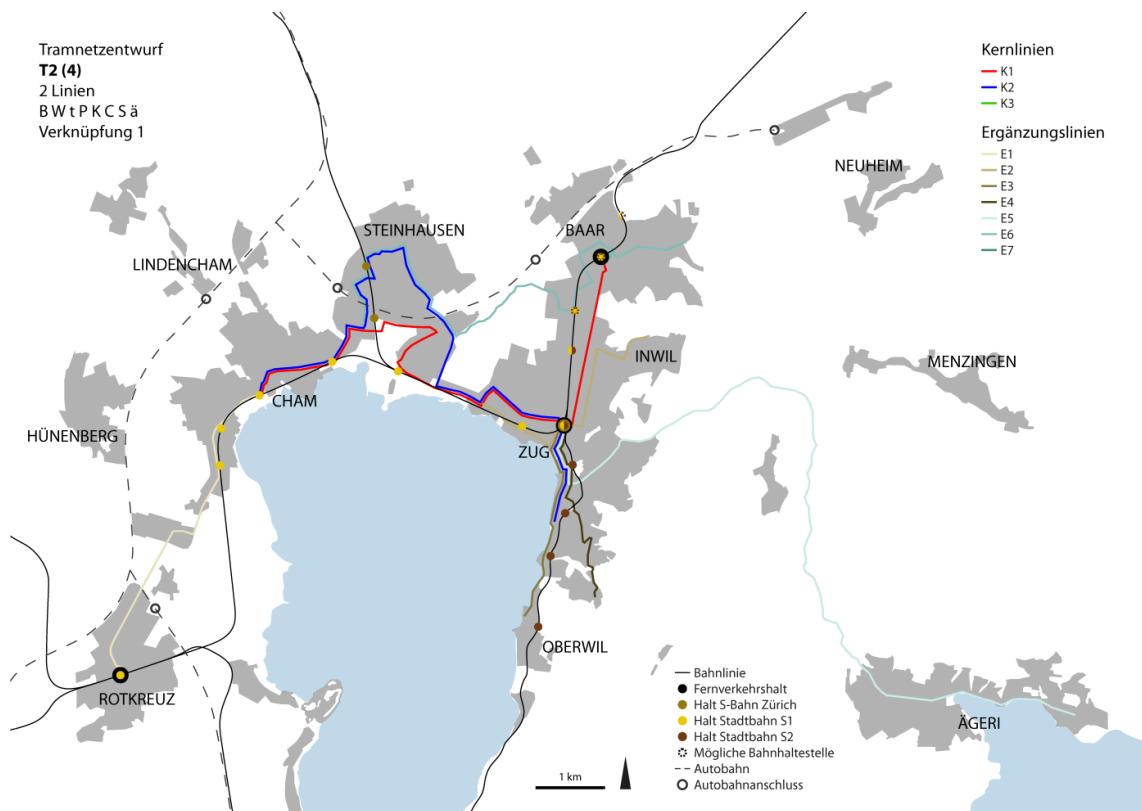


Abbildung 38: Variante T2 (4)

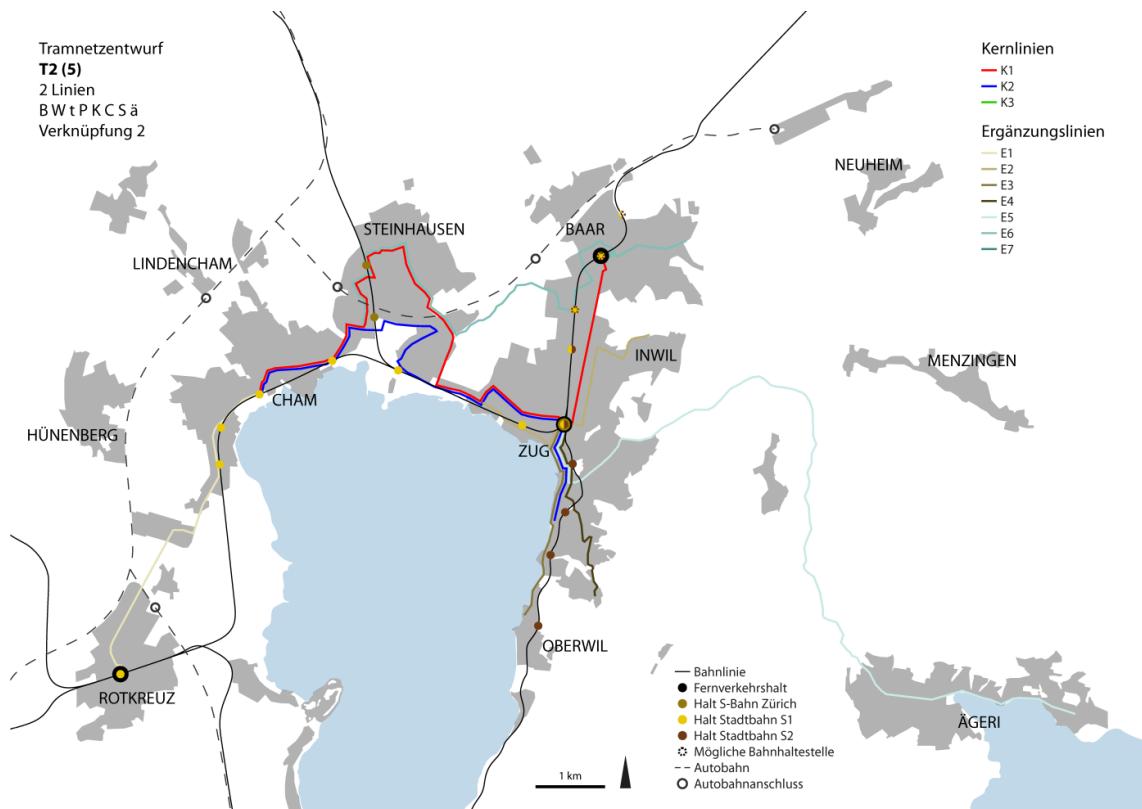


Abbildung 39: Variante T2 (5)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

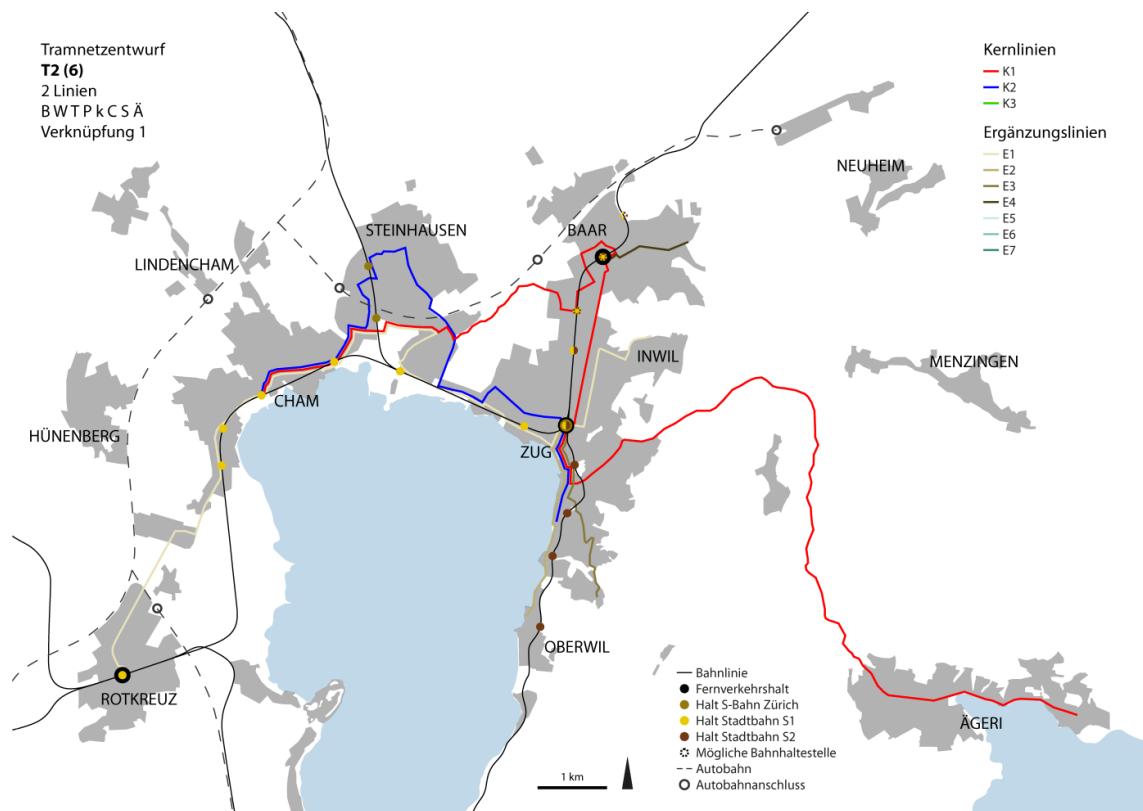


Abbildung 40: Variante T2 (6)

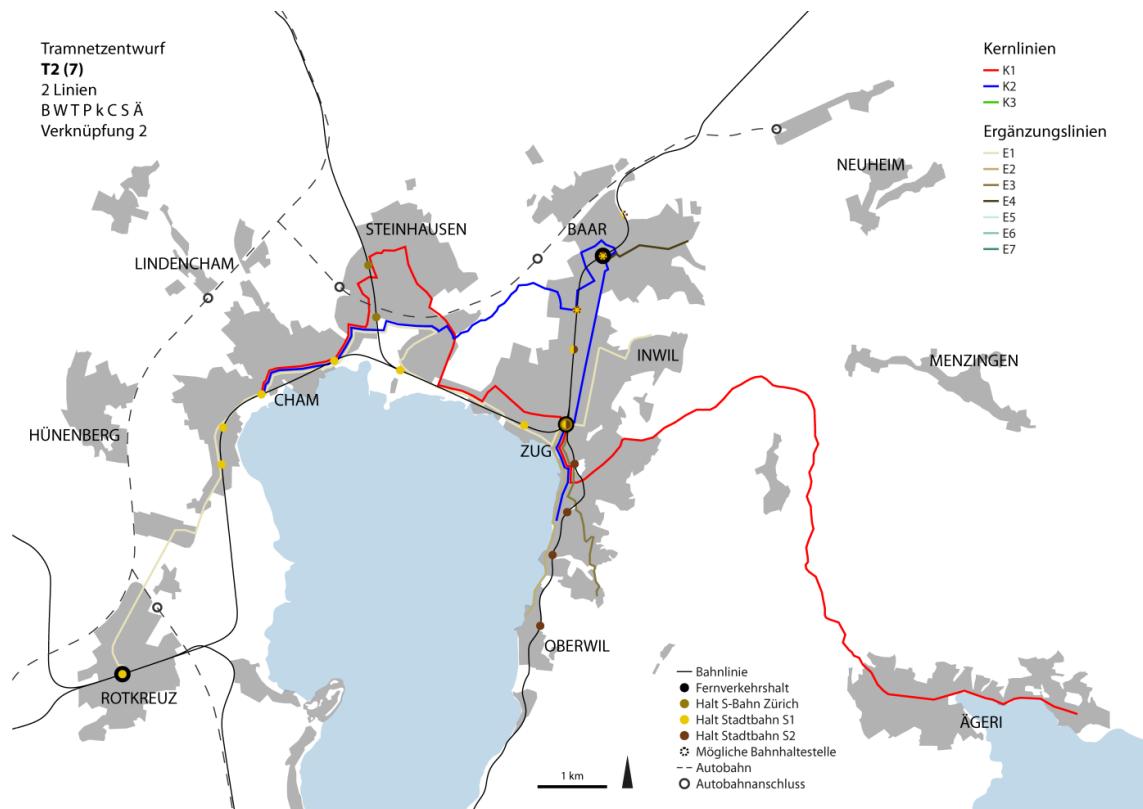


Abbildung 41: Variante T2 (7)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

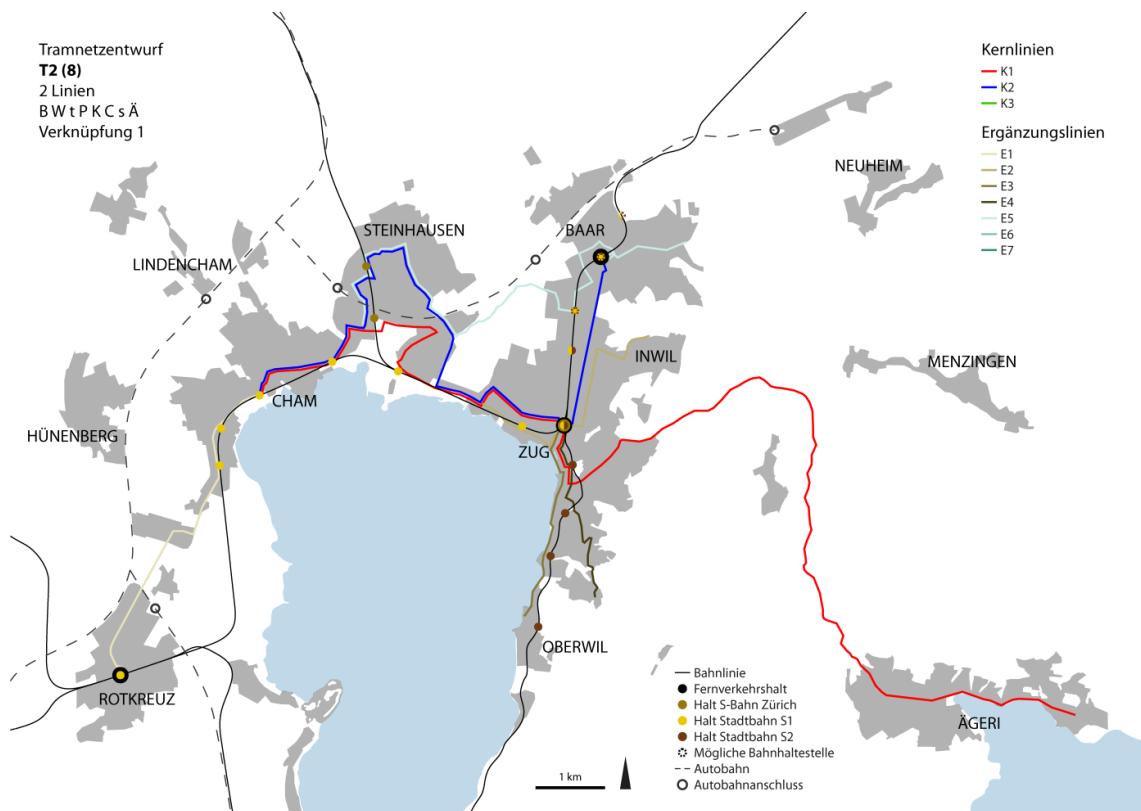


Abbildung 42: Variante T2 (8)

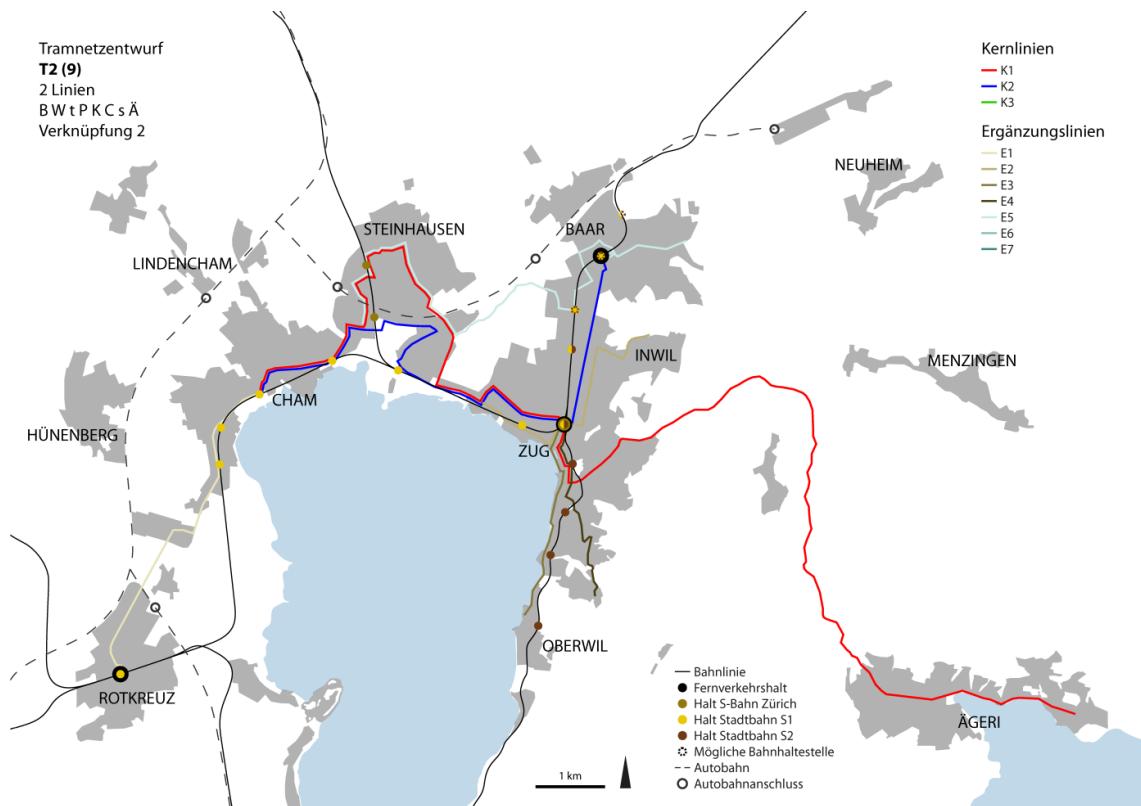


Abbildung 43: Variante T2 (9)

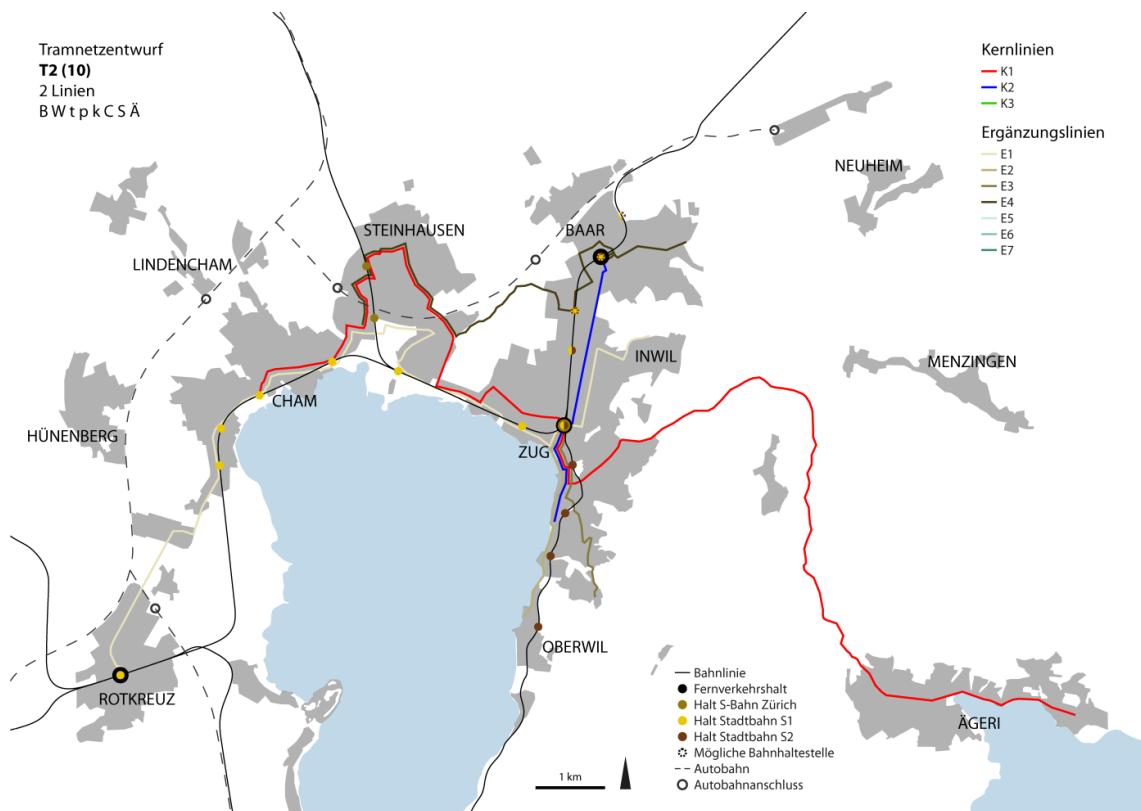


Abbildung 44: Variante T2 (10)

6.4 BRT

6.4.1 2 Kernlinien

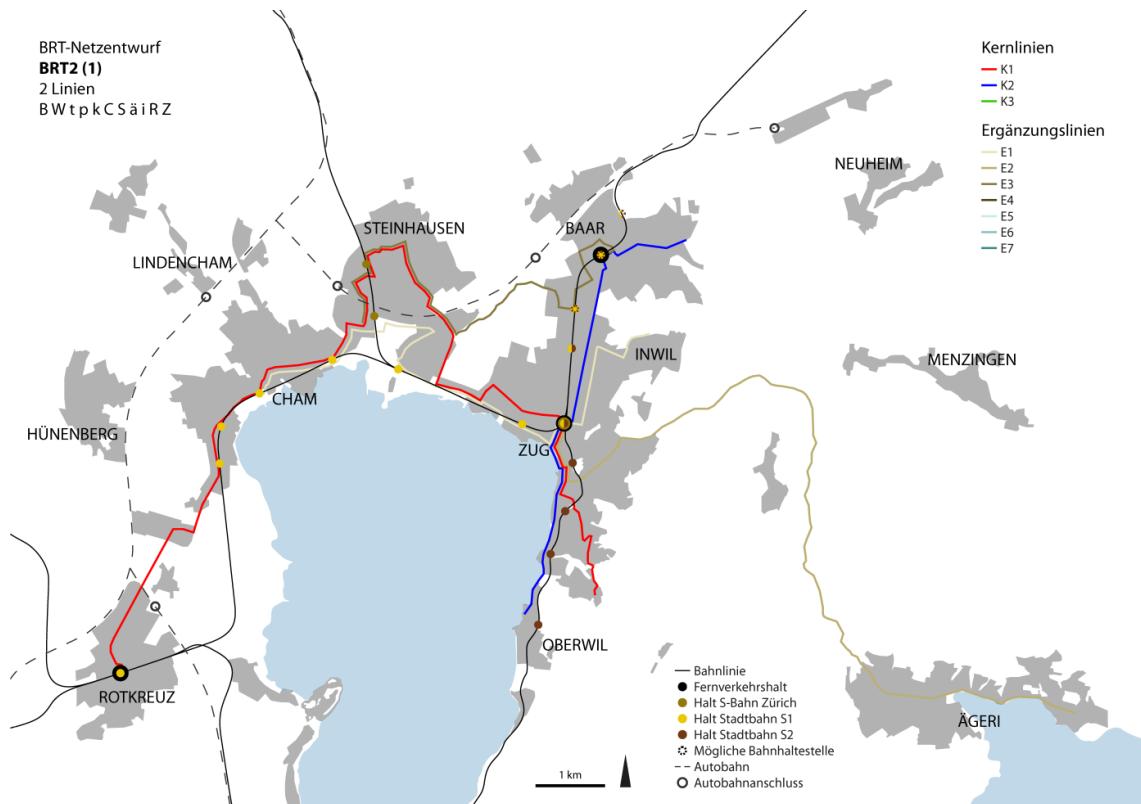


Abbildung 45: Variante BRT2 (1)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

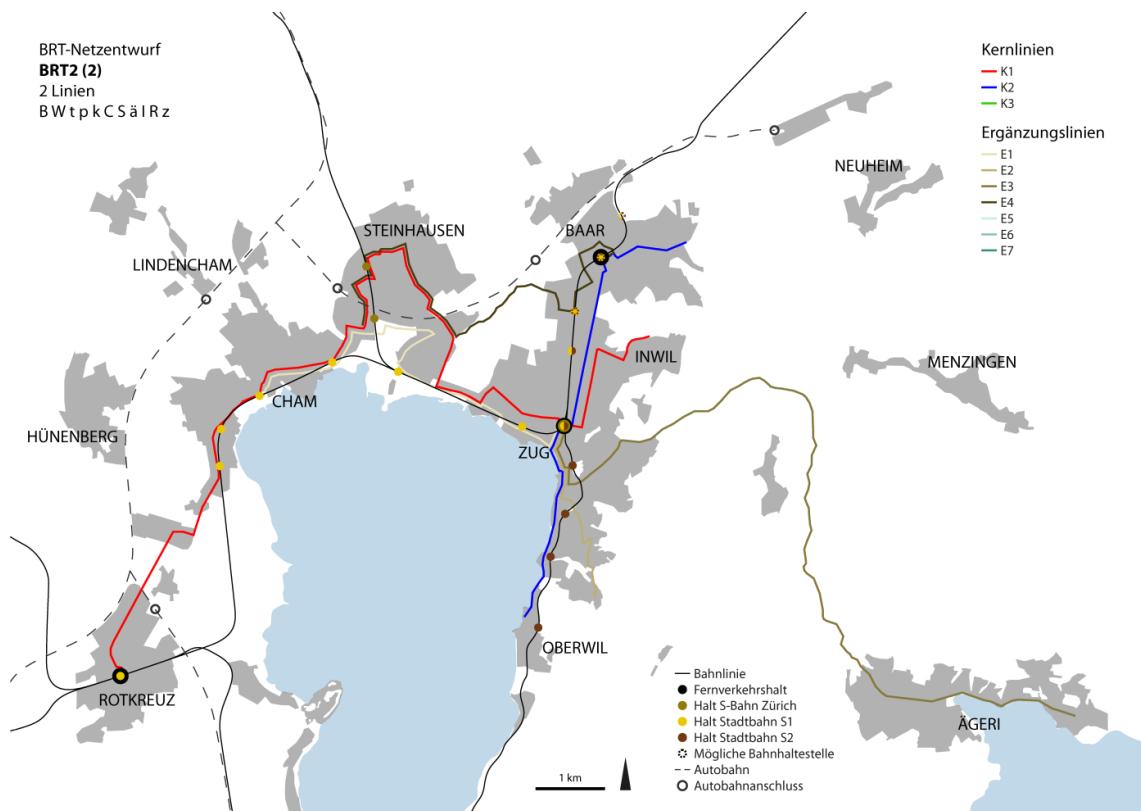


Abbildung 46: Variante BRT2 (2)

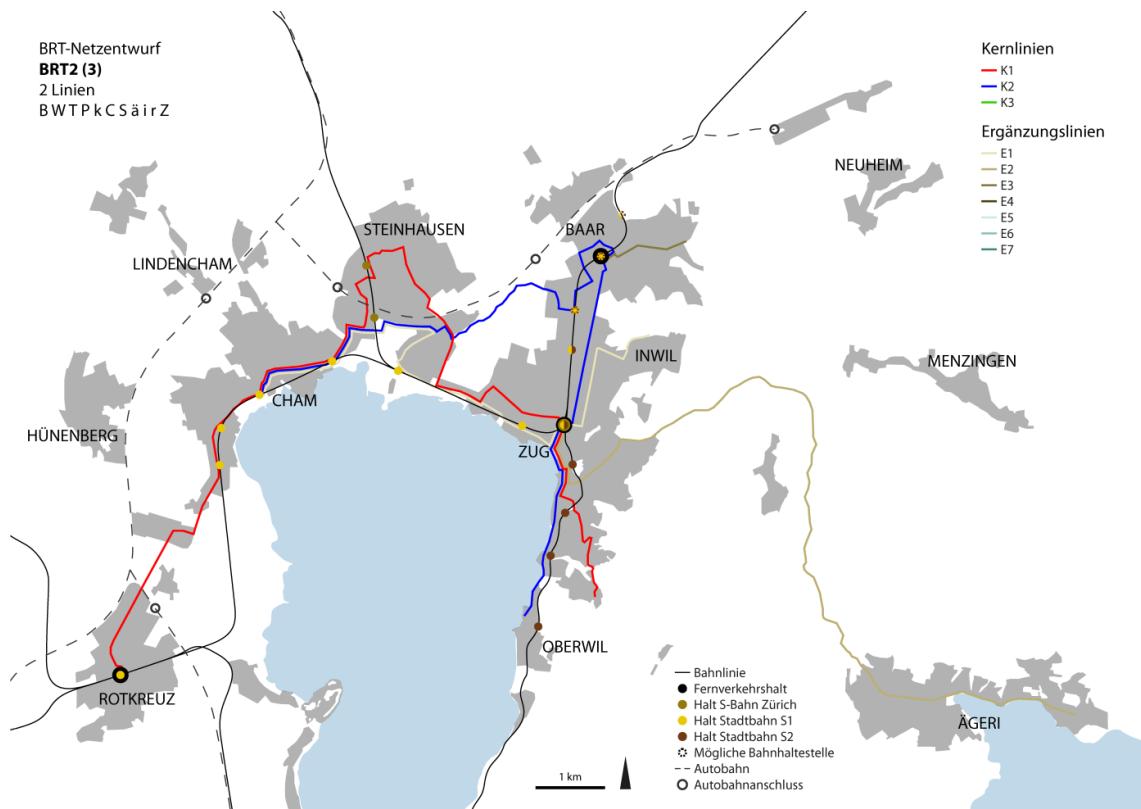


Abbildung 47: Variante BRT2 (3)

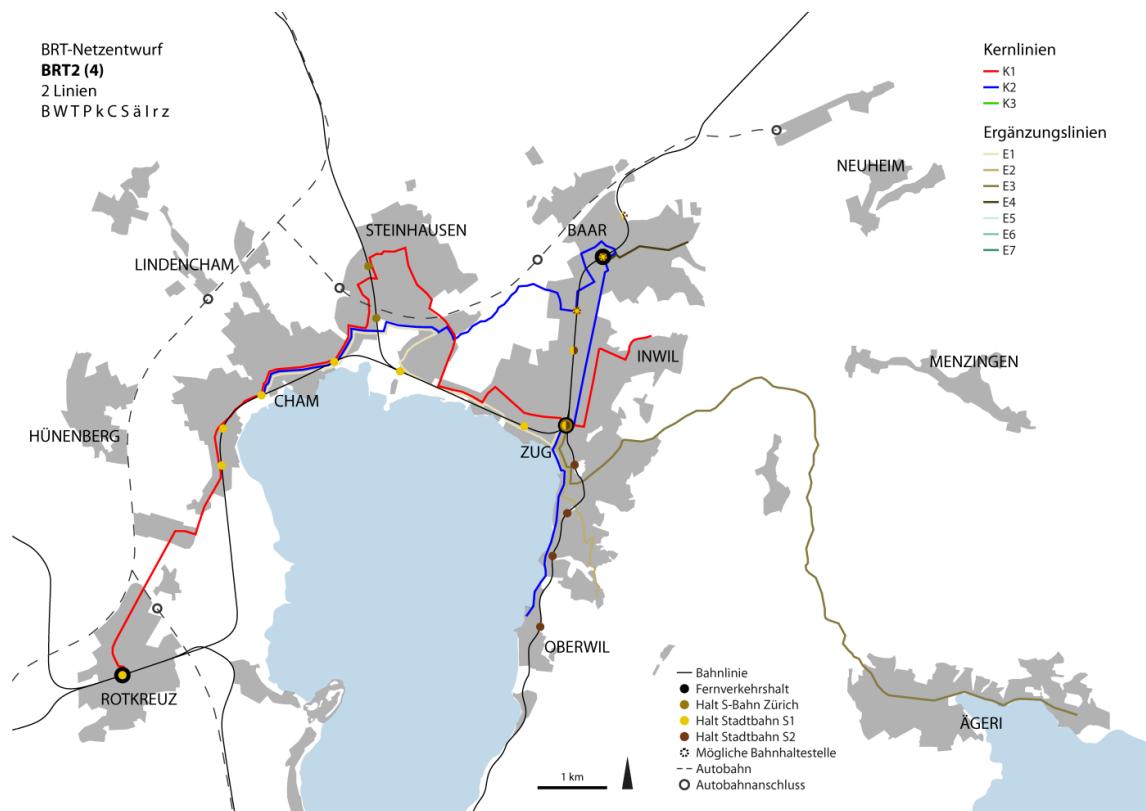


Abbildung 48: Variante BRT2 (4)

6.4.2 3 Kernlinien

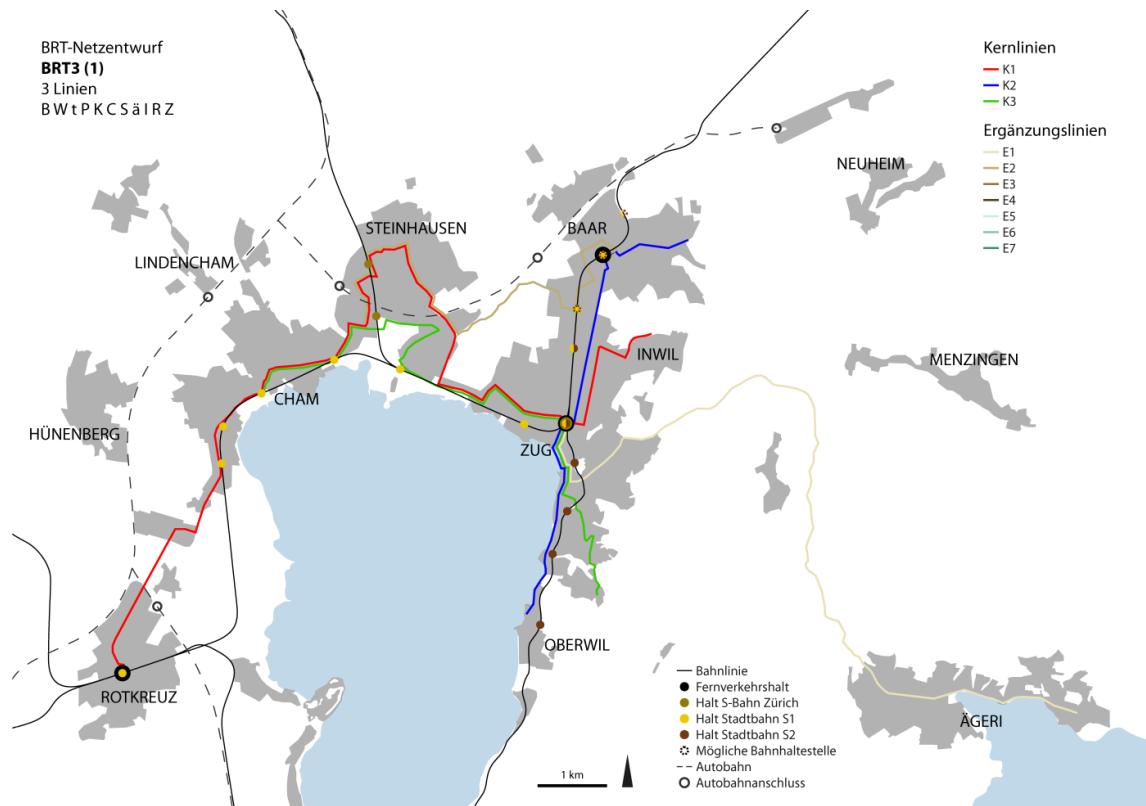


Abbildung 49: Variante BRT3 (1)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

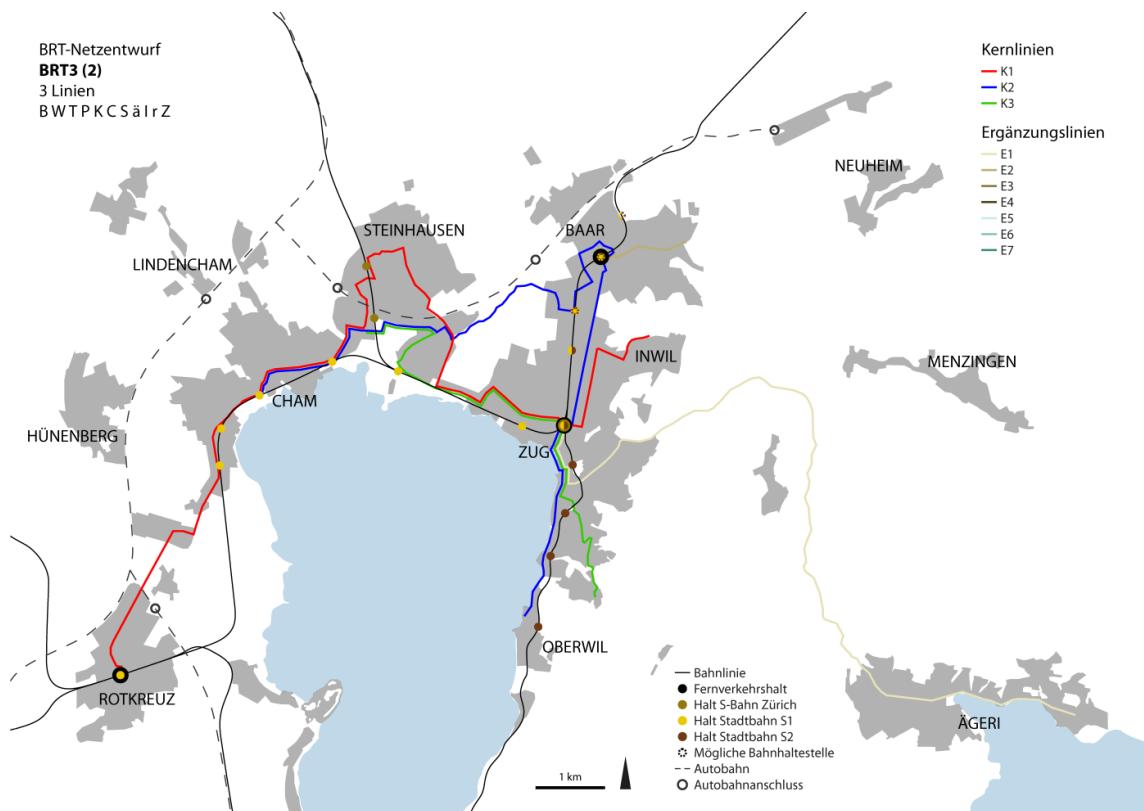


Abbildung 50: Variante BRT3 (2)

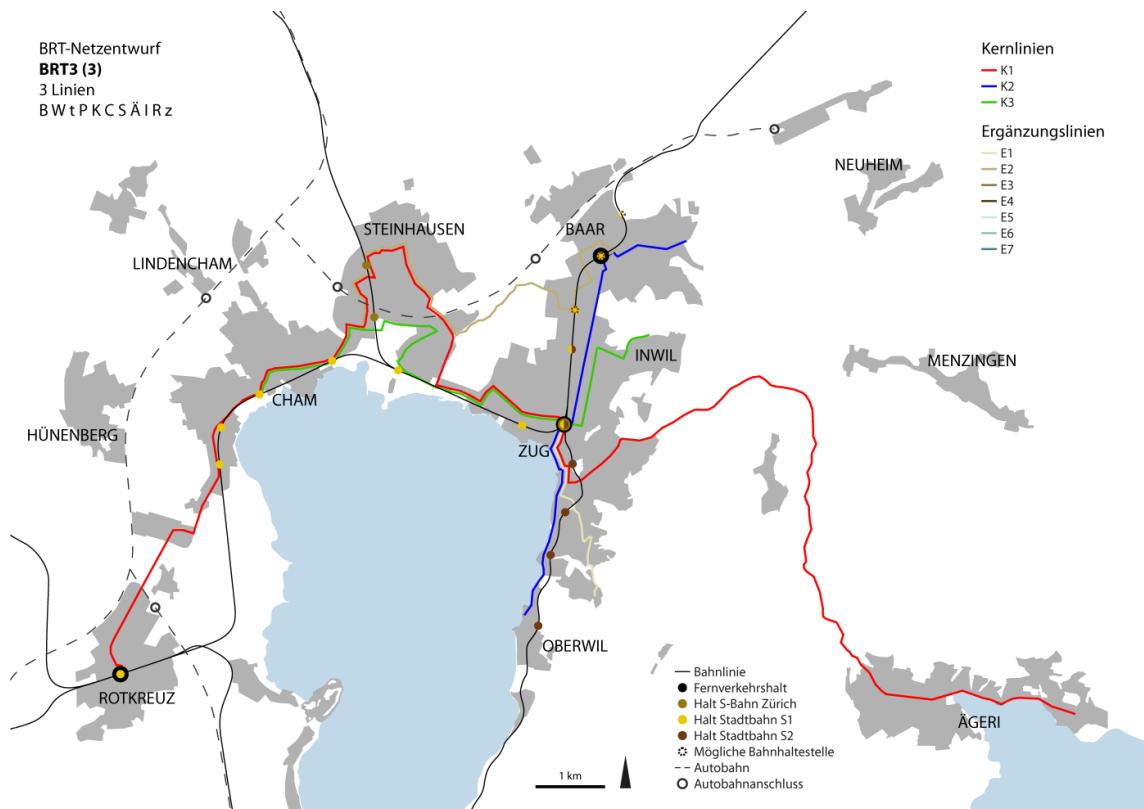


Abbildung 51: Variante BRT3 (3)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

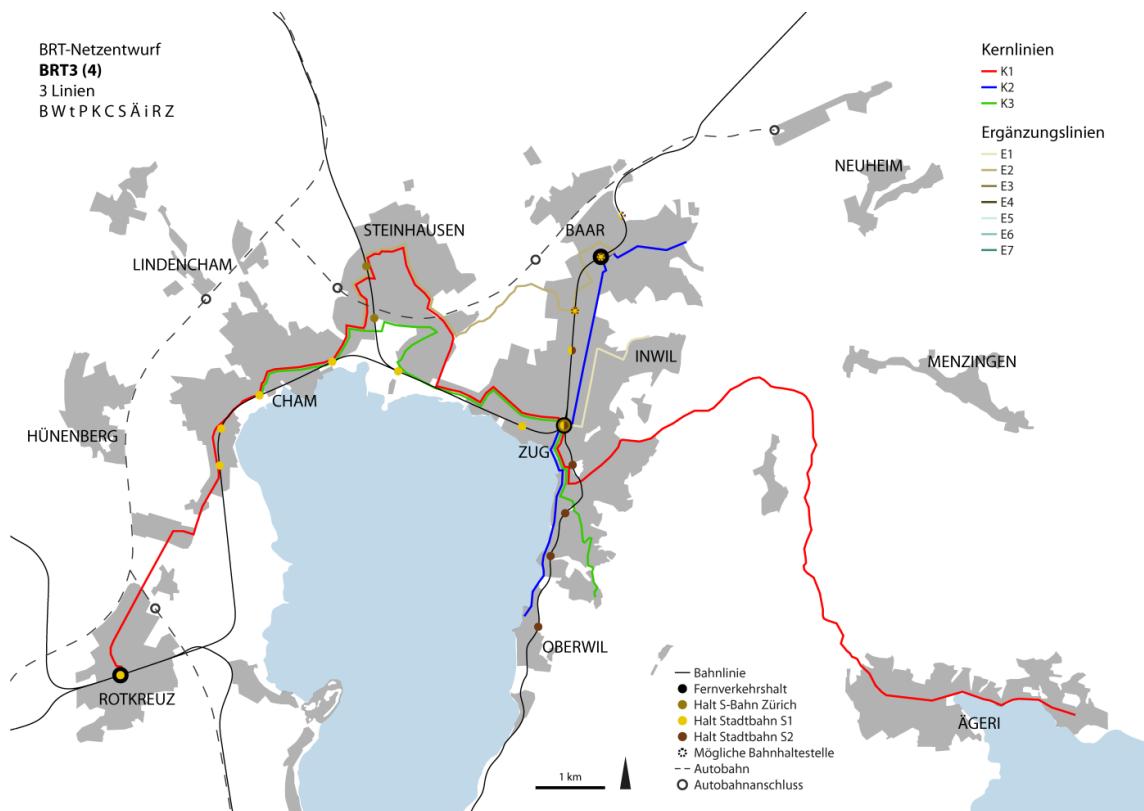


Abbildung 52: Variante BRT3 (4)

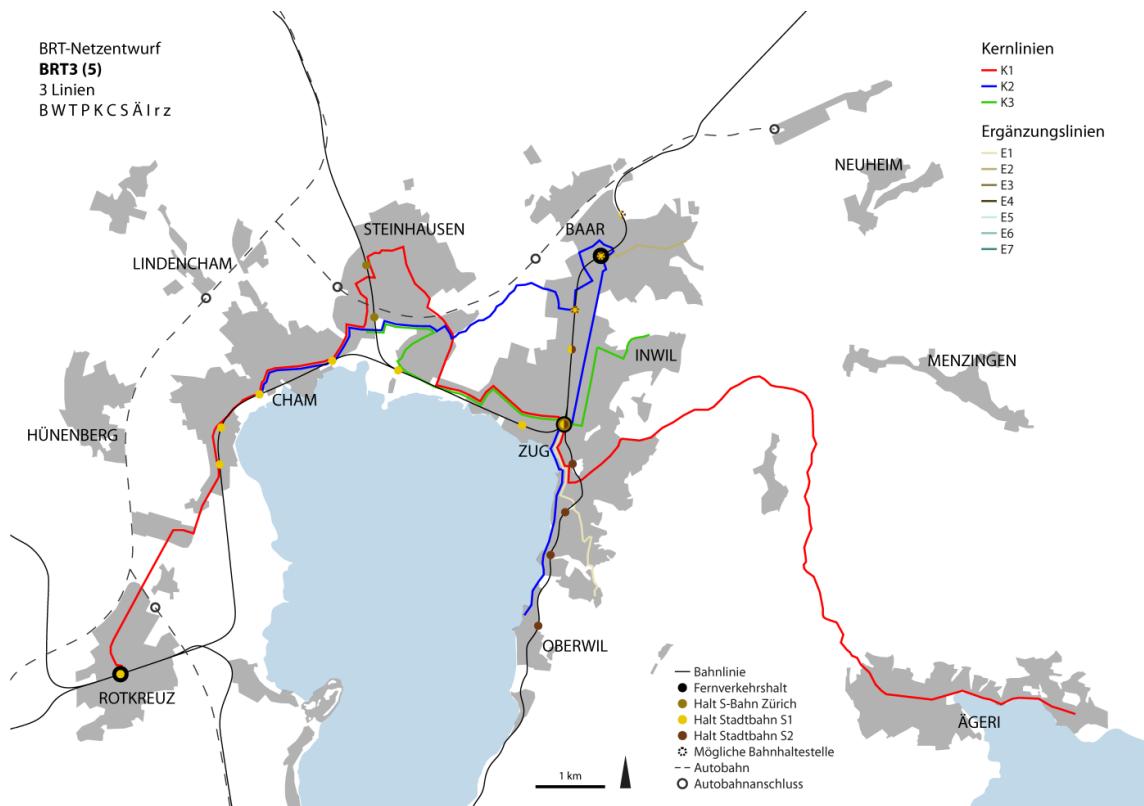


Abbildung 53: Variante BRT3 (5)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

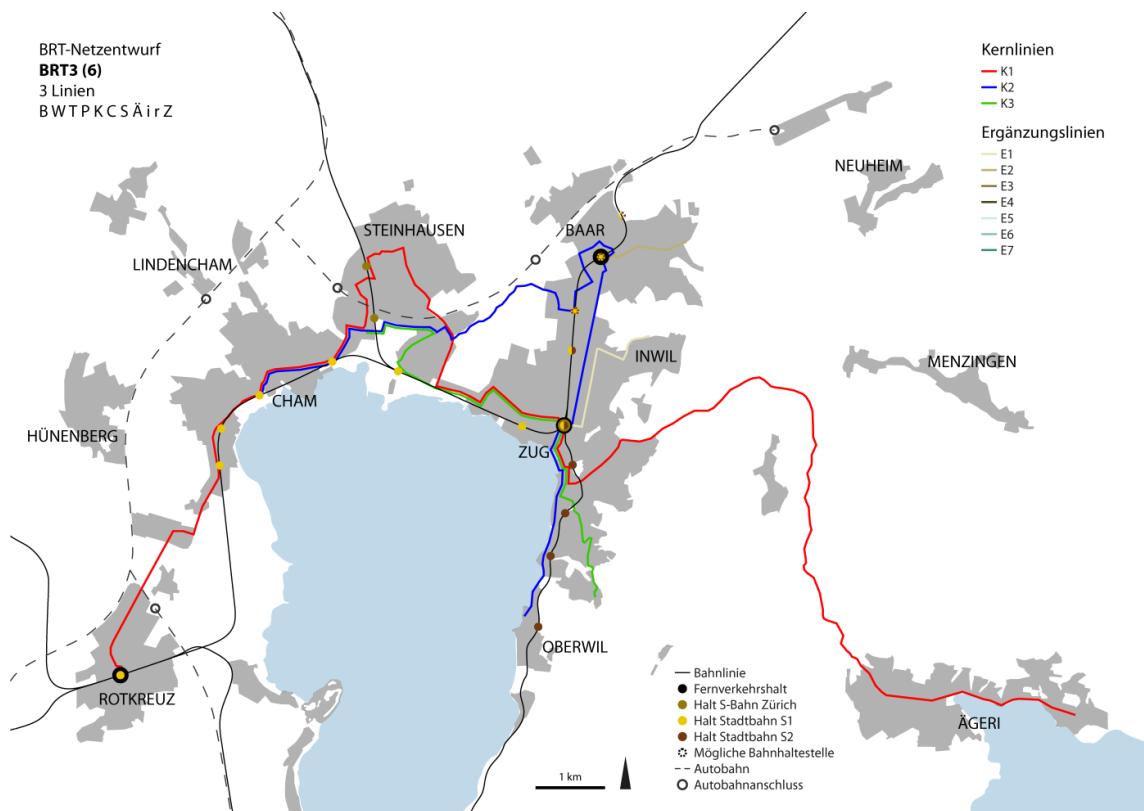


Abbildung 54: Variante BRT3 (6)

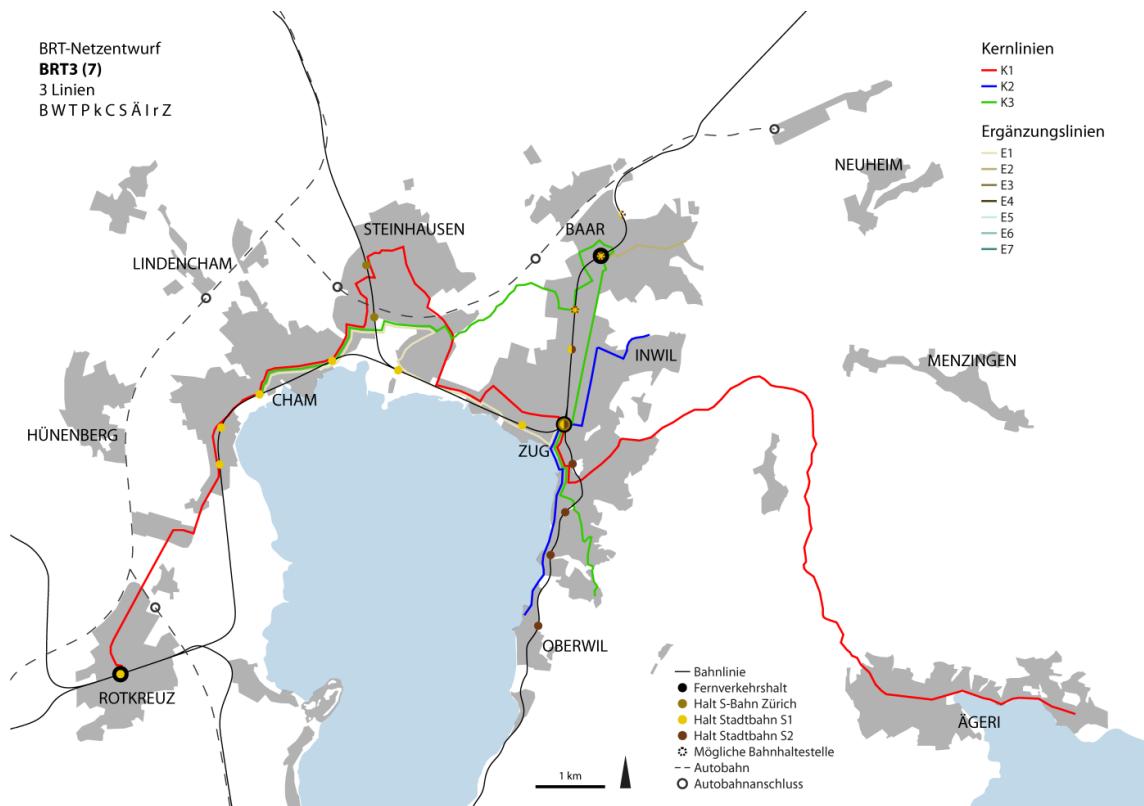


Abbildung 55: Variante BRT3 (7)

6.5 Busplus

Die Variante Busplus basiert auf dem Busnetz 2014, welches vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurde [AÖV 2011]. Es wurden nur diejenigen Linien und davon nur jene Äste berücksichtigt, welche Bestandteil des in der Variantenuntersuchung betrachteten Netzes sind. Die Variante Busplus enthält nur Ergänzungslinien, da kein neues System zum Einsatz kommt.

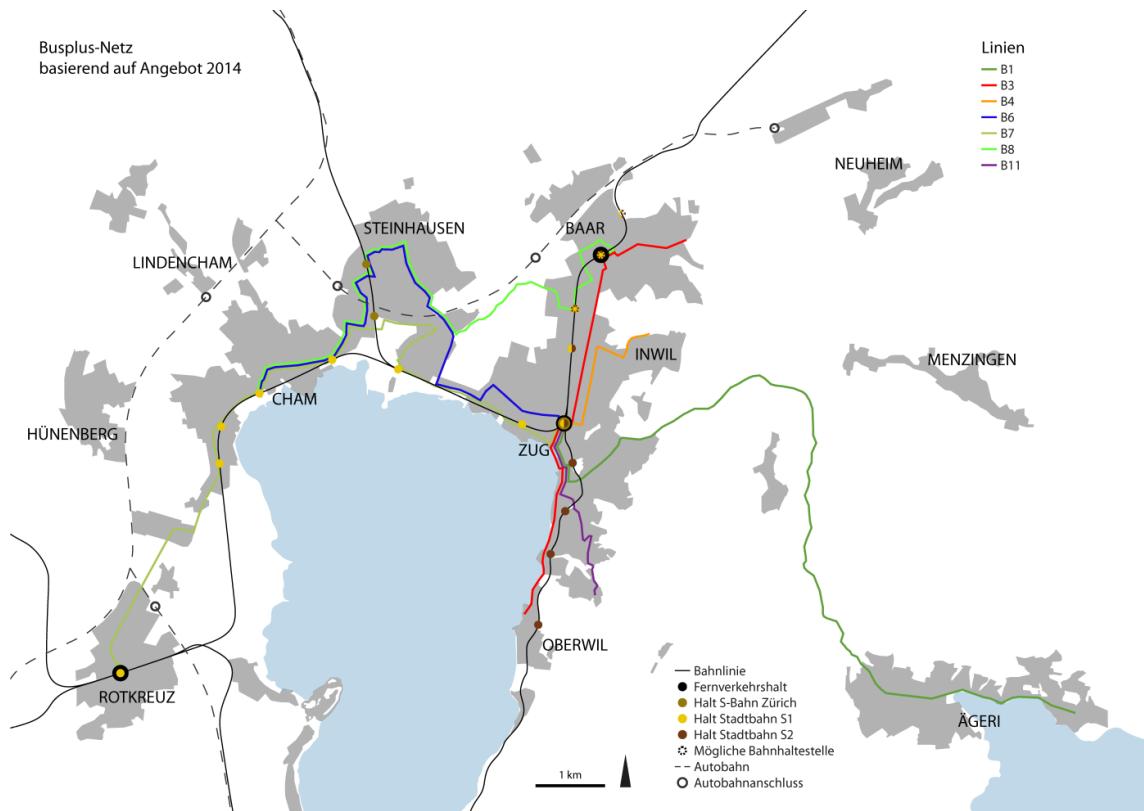


Abbildung 56: Variante Busplus

7. Bewertungsmethodik

Für die Klärung der Systemfrage wurde ein zweistufiges Bewertungsverfahren angewendet.

In der ersten Stufe wurde die beste Tram- sowie die beste BRT-Variante mittels einer Nutzwertanalyse evaluiert. Wichtig ist dabei anzumerken, dass diese erste Bewertung keinen Quervergleich zwischen Bus und Tram zulässt. Sie stellte nur sicher, dass für die eigentliche Beantwortung der Fragestellung die jeweils besten Systemvarianten betrachtet werden.

In der zweiten Stufe wurden nur die Bestvarianten verglichen. Dabei kam zusätzlich die Busplus-Variante hinzu. In einem ersten Teil dieser zweiten Stufe wurde untersucht, für welche Wachstumsszenarien die Bestvarianten und die Busplus-Variante überhaupt in Frage kommen. In einem zweiten Teil wurden die Bestvarianten und die Busplus-Variante vergleichend bewertet, wobei eine Kosten-Wirksamkeits-Analyse verwendet wurde.

Abbildung 57 gibt einen schematischen Überblick über die Bewertungsmethodik.

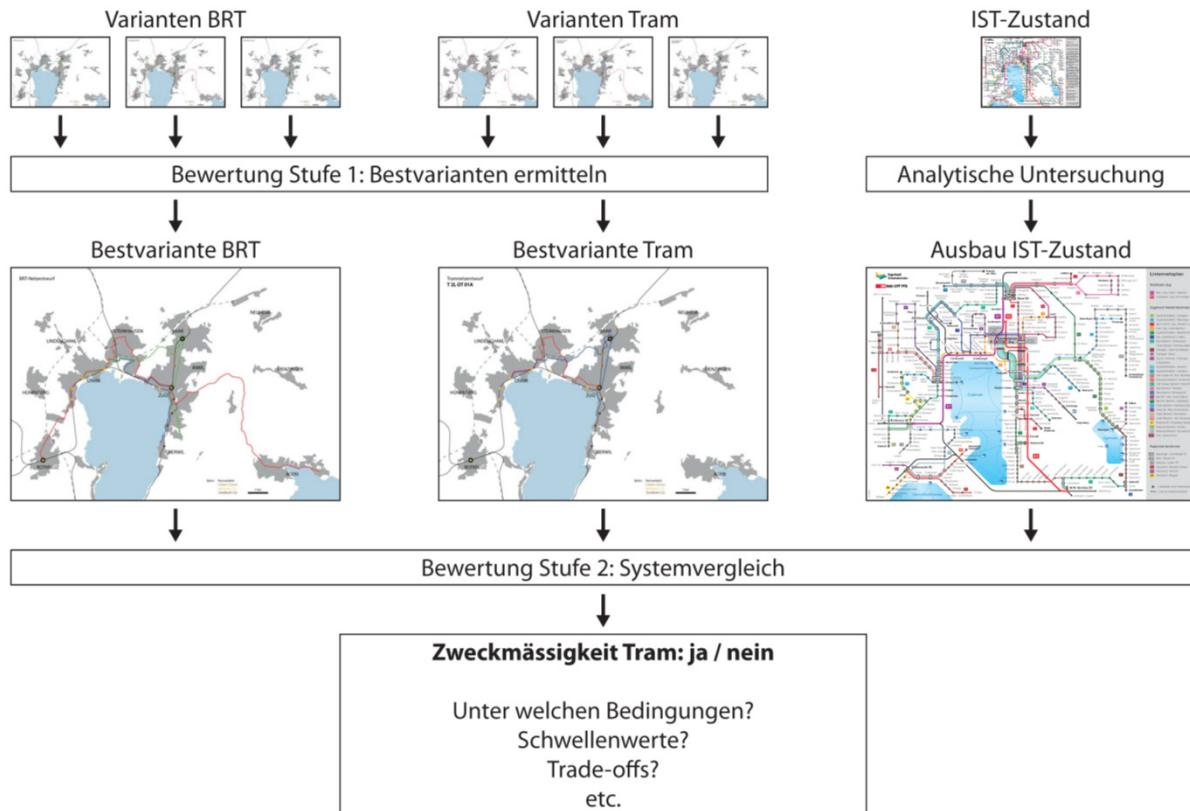


Abbildung 57: Schematische Darstellung der Bewertungsmethodik

8. Bewertung 1. Stufe

8.1 Kriterien

8.1.1 Übersicht

In einer ersten Bewertungsstufe wurden die Varianten getrennt nach System einer Vorselektion unterzogen. Damit wurde die anschliessende Beantwortung der Hauptfrage vereinfacht, da nur noch die jeweils zwei besten Varianten pro System verblieben.

Folgende Kriterien wurden dabei verwendet:

- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Zuverlässigkeit
- Verbindungen
- Erschliessung Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete
- Netzgrösse Kernnetz (nur Tram)
- Gute Umläufe im Kernnetz

Im Folgenden werden die Kriterien näher erläutert und die Indikatoren zur Messung der Kriterien festgelegt.

8.1.2 Investitionskosten

Erläuterung

Die Investitionskosten betreffen die notwendigen Infrastrukturausbauten, welche für die jeweilige Variante anfallen. Es wurde mit den auszubauenden Streckenlängen und pauschalen Kostensätzen je System (siehe Kapitel 8.2.4) gerechnet.

Indikator

Investitionskosten in CHF.

8.1.3 Betriebskosten

Erläuterung

Die Betriebskosten wurden linienweise für das gesamte betrachtete Netz (inkl. Ergänzungslinien) berechnet und zwar jeweils für die Spitzenstunde. Die Effizienzsteigerung durch neu eigentraillierte Systeme wurde mit einem Geschwindigkeitsfaktor (siehe Kapitel 8.2.4) für die betreffenden Linien berücksichtigt.

Indikator

Betriebskosten für das betrachtete Netz in der Spitzenstunde (Werktag) in CHF.

8.1.4 Zuverlässigkeit

Erläuterung

Durch die oftmals starke Belastung des Strassennetzes durch den MIV leidet die Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit des öffentlichen Verkehrs, sodass für einen bestimmten Kurs jeweils das Anschlussgefüge in Gefahr gerät. Der grosse Vorteil des öffentlichen Verkehrs und zentrale Kundenanforderung, die Zuverlässigkeit, ist gefährdet.

Es wurde angenommen, dass die Linien mit neuem System, also beispielsweise Tramlinien, durchgehend eigentrassiert ausgestaltet werden. So profitiert ein grösseres BRT- oder Tramnetz insgesamt von einer höheren Zuverlässigkeit. Für die übrigen Netzteile des betrachteten Netzes (also für die ergänzenden Buslinien) wurde der Anteil bestehender oder bereits geplanter Eigentrassierung verwendet.

Indikator

Anteil eigentrassierter Linienabschnitte an der Gesamtlänge aller Linien (Kernlinien und Ergänzungslinien).

8.1.5 Verbindungen

Erläuterung

Bei diesem Kriterium wurde die Art der Verbindungen zwischen definierten Punkten im betrachteten Raum bewertet (siehe Abbildung 58). Dabei wurden sowohl zentrale (z.B. Bahnhöfe) als auch periphere Lagen (z.B. Zug, Lorzen) berücksichtigt, um ein möglichst umfassendes Bild der Verbindungsqualität einer Variante zu erhalten.

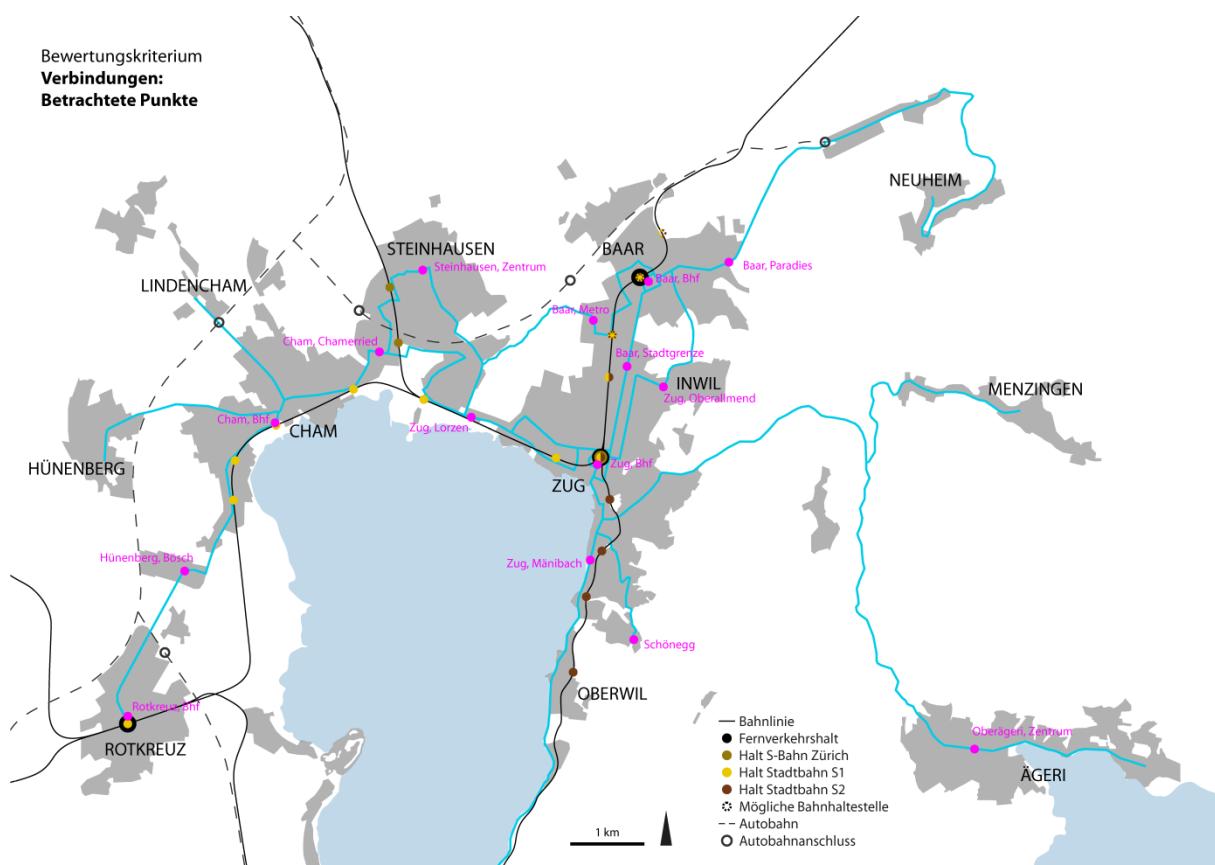


Abbildung 58: Punkte zur Analyse der Verbindungen

Die Bewertung erfolgte anhand einer Verbindungsmaatrix (siehe Abbildung 59). Für jede mögliche Verbindung zwischen den erwähnten Punkten wurde die Art der Verbindung erfasst und für jede Verbindungsart eine Punktzahl vergeben, was eine vergleichbare Gesamtpunktzahl für das Kriterium Verbindungen ergab.

Dabei wurden folgende Verbindungsarten unterschieden (Punktzahl in Klammern):

- Direktverbindung (4 Punkte)
- Vorwärtsanschluss mit einem Umsteigevorgang (3 Punkte)
- Vorwärtsanschluss mit mehr als einem Umsteigevorgang (2 Punkte)
- Rückwärtsanschluss mit einem Umsteigevorgang (2 Punkte)
- Rückwärtsanschluss mit mehr als einem Umsteigevorgang (1 Punkt)

Die Stadtbahn Zug wurde bei der Verbindungsanalyse im heutigen Zustand berücksichtigt. Relationen, die direkt mit der Stadtbahn verbunden sind (z.B. Zug, Bhf – Rotkreuz, Bhf), wurden nicht berücksichtigt, da sie bei allen Varianten dieselbe Qualität aufweisen.

von / nach	Rotkreuz, Bhf	Hünenberg, Bösch	Cham, Bhf	Cham, Chamerried	Steinhausen, Zentrum	Zug, Lorzen	Zug, Zug, Bhf	Mänibach	Schönenegg	Baar, Stadtgrenze	Zug, Oberallmend (Rg Inwil)	Baar, Bhf	Baar, Metro	Baar, Paradies	Unterägeri, Zentrum
Rotkreuz, Bhf															
Hünenberg, Bösch	D														
Cham, Bhf		D													
Cham, Chamerried	D	D	D												
Steinhausen, Zentrum	V1	V1	D	D											
Zug, Lorzen	D	D	D	D	D										
Zug, Bhf			D	D	D	D	D	D							
Zug, Mänibach	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V1	D							
Schönenegg	V1	V1	V1	V1	V1	V1	D	V1							
Baar, Stadtgrenze	V1	V1	D	D	D	D	D	V1	V1	V1					
Zug, Oberallmend (Rg Inwil)	D	D	D	D	V1	D	D	V1	V1	V1	R1				
Baar, Bhf	V1		D	D	D	D	D	V1	V1	V1	D	R1			
Baar, Metro	V1	V1	V1	D	D	V1	R1	R2	R2	R1	R2	D	D	D	
Baar, Paradies	V1	V1	V1	D	D	V1	V1	V2	V2	V1	R2	D	D	D	
Unterägeri, Zentrum	V1	V1	V1	V1	V1	V1	D	V1	V1	V1	V1	V1	R2	V2	

Abbildung 59: Beispiel für eine Verbindungsmaatrix zur Bewertung der Verbindungsqualität; D=Direktverbindung, V1=Vorwärtsanschluss (1 Umsteigevorgang), V2=Vorwärtsanschluss (>1 Umsteigevorgänge), R1=Rückwärtsanschluss (1 Umsteigevorgang), R2=Rückwärtsanschluss (>1 Umsteigevorgänge)

Indikator

Anzahl Punkte aus der Verbindungsmaatrix.

8.1.6 Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten

Erläuterung

Dieses Kriterium widerspiegelt das Variantenaufbauprinzip „Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten“. Ziel war es, Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete gemäss Bericht zur Anpassung des kantonalen Richtplans [Kanton Zug 2012d], welche nicht durch die Stadtbahn und / oder S-Bahn erschlossen sind, an ein neues, leistungsfähiges Feinverteilersystem anzubinden, damit sie von der gesteigerten Angebotsqualität profitieren. Dadurch könnte die Entwicklung in die gewünschte Richtung gesteuert werden.

Indikator

Anzahl der mit dem neuen System erschlossenen Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete, welche nicht mit der Stadtbahn und / oder S-Bahn direkt erschlossen sind. Folgende elf Gebiete wurden berücksichtigt:

- Industrie Bösch
- Chamerried
- Sumpfstrasse (neues Trassee)
- Sumpf Ost (Ammannsmatt)
- Steinhäusen Zentrum
- Zug West (Stadion)
- Zug Nord (Guthirt)
- Zug Nordost (V-Zug)
- St. Martin (Erschliessung auch über Landhaus möglich)
- Metro
- Paradies

8.1.7 Netzgrösse Kernnetz (nur bei Tramvarianten)

Erläuterung

Ein Tramnetz ist eine Insellösung, d.h. die Fahrzeuge können im Raum Zug nicht anderweitig eingesetzt werden. Zudem muss eine Reserve vorgehalten werden, um den regelmässigen Unterhalt, aber auch ausserplanmässige Ausfälle von Fahrzeugen kompensieren zu können. Diese Reserve beträgt auch in sehr kleinen Netzen normalerweise 3 Fahrzeuge, insbesondere bei eigentrassierten Strecken, die im Bedarfsfall nicht oder nur mit erhöhtem Investitionsaufwand mit Ersatzbussen befahren werden können. Bei grösseren Netzen beträgt ein sinnvoller Anteil an Reservefahrzeugen etwa 15%. Entsprechend führen Netze, die aufgrund ihrer kleinen Grösse eine Reserve von mehr als 15% bedingen, zu einer ineffizienten Nutzung des Fahrzeugparks.

Bei BRT-Varianten könnten bei Ausfällen o.ä. normale Busse zum Einsatz kommen, was wesentlich mehr Optimierungsmöglichkeiten bei der Reservebemessung zulässt. Deshalb müssen auch sehr kleine BRT-Netze nicht zwingend zu höheren Reservebeständen führen und dieses Kriterium wurde nur für Tramvarianten verwendet.

Indikator

Anteil Reserve-Tramfahrzeuge am gesamtem Tram-Fahrzeugpark bei Tramvarianten.

8.1.8 Gute Umläufe im Kernnetz

Erläuterung

Je nach Liniengestaltung resultieren aus der Umlaufplanung während der Spitzentunde Unterschiede bei der Produktivität des Rollmaterials. Entsprechend wurde das Verhältnis zwischen Fahrzeit und Umlaufzeit pro Fahrzeug betrachtet. Dieses Kriterium wurde nur auf das Kernnetz, d.h. auf die Tram- oder BRT-Linien angewandt, da die Ergänzungslinien durch Verknüpfungen mit nicht dem berücksichtigten Netz angehörenden Linienästen optimiert werden könnten.

Indikator

Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug im Kernnetz (neues System).

8.2 Vorgehen

8.2.1 Erfassung des betrachteten Netzes

Das betrachtete Netz wurde in 24 Abschnitte aufgeteilt (siehe Abbildung 60), und zwar so, dass jede Linie jeder Variante genau abgebildet werden konnte (Endpunkt einer Linie = Endpunkt eines Netzabschnittes).

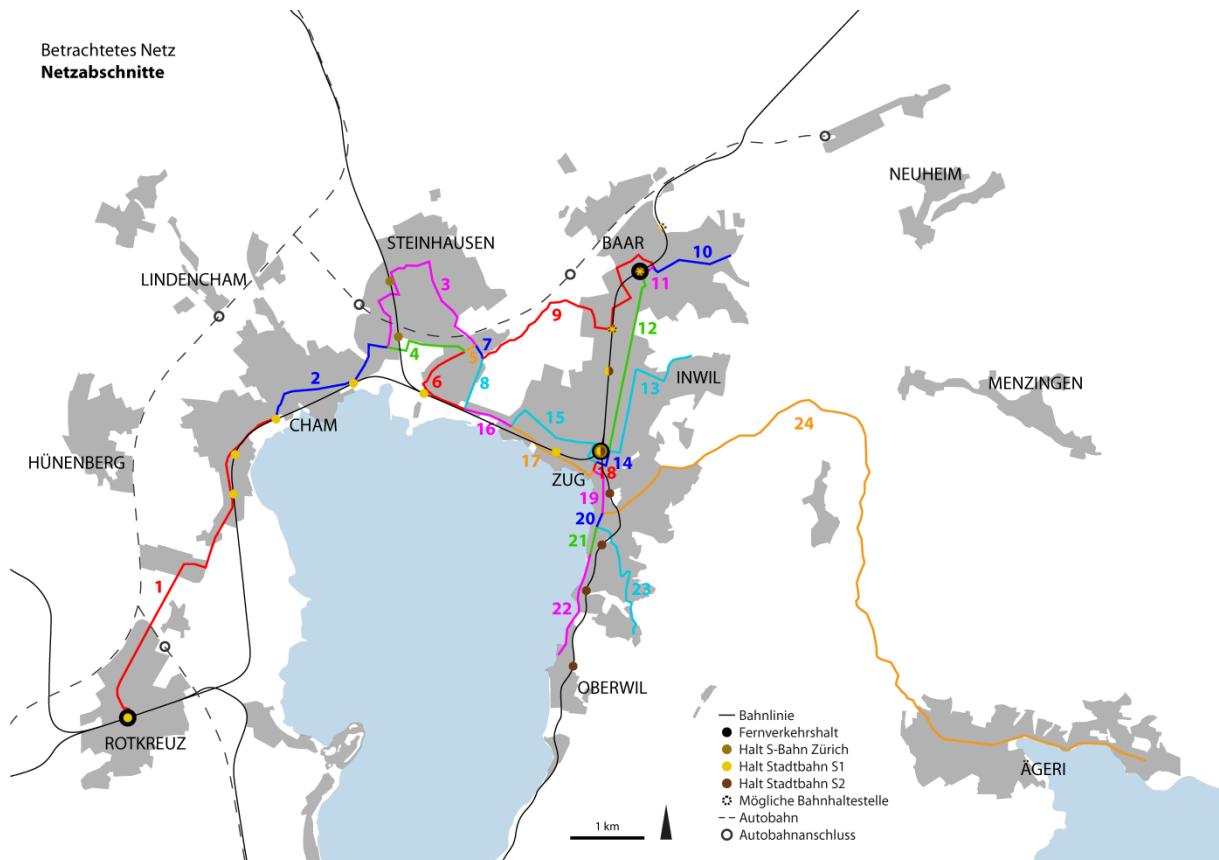


Abbildung 60: Aufteilung des betrachteten Netzes in 24 Abschnitte

Für jeden Abschnitt wurden folgende Daten erfasst:

- Nummer [-]
- Länge [m]
- Fahrzeit heute zur HVZ morgens (zwischen 7:00 und 8:00), Richtung 1 [min]
- Fahrzeit heute zur HVZ morgens (zwischen 7:00 und 8:00), Richtung 2 [min]
- Gemittelte Fahrzeit heute zur HVZ morgens (zwischen 7:00 und 8:00)
- Massgebender Querschnitt jeder heute auf dem Abschnitt verkehrenden Linie [-]
- Überlagerte Nachfrage (durchschnittlicher Werktagsverkehr) aller auf dem Abschnitt verkehrenden Linien, beide Richtungen [Pers. / Tag]
- Steigerung der Nachfrage (Einteilung der Streckenabschnitte in Kategorien mit den Faktoren 0.7, 1.0 und 1.3 entsprechend der Verteilung auf Korridore gemäss Abbildung 16; Gesamtsteigerung der Nachfrage: 100%) [%]
- Gesteigerte Nachfrage (DWTV), beide Richtungen [Personen / Tag]
- Länge bestehende Eigentrassierung, beide Richtungen [m]
- Länge geplante Eigentrassierung, beide Richtungen [m]
- Summe bestehende + geplante Eigentrassierung, beide Richtungen [m]

Die Fahrzeiten wurden basierend auf dem heutigen Fahrplan ermittelt [SBB 2012]. Für gewisse Abschnitte konnte keine Fahrzeit ermittelt werden, entweder, weil sie heute noch nicht bestehen (z.B. Sumpfstrasse), oder weil sie sehr kurz sind. Für diesen Fall wurde die distanzgewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit der übrigen Abschnitte als Basis verwendet. Dabei wurde allerdings der Abschnitt Nummer 24 (Ägerital) nicht in die Berechnung einbezogen, da er aufgrund der grossen Distanz ein sehr hohes Gewicht aufgewiesen hätte und zudem eine sehr untypische Struktur aufweist (Überlandlinie).

Die Länge der Eigentrassierung wurde aufgrund einer vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Übersicht erfasst [Müller 2012]; ergänzend wurden die Projekte des Agglomerationsprogramms 2. Generation berücksichtigt [Kanton Zug 2012b] (siehe auch Kapitel 3.5).

Für einige Abschnitte konnte keine Nachfrage ermittelt werden, entweder aufgrund der Kürze oder weil dadurch Verzerrungen (d.h. unrealistische Aufteilung der Nachfrage auf Linien) entstanden wären.

Die Tabelle mit den Netzdaten ist im Anhang vorhanden.

8.2.2 Variantenerfassung

Pro Linie wurde für jede Variante festgelegt, welche Netzabschnitte Bestandteil von ihr sind. Zudem wurde die Verbindungsmaatrix (Beispiel: Abbildung 59) pro Variante ausgefüllt. Im Anhang ist das entsprechende Erfassungsformular angefügt.

Bei der Erfassung der Linien wurde zwischen Kern- und Ergänzungslinien differenziert. Kernlinien sind Bestandteil des neuen Systems, d.h. des Tram- oder BRT-Netzes, während die Ergänzungslinien konventionelle Buslinien sind. Bei den Kernlinien ist die Gefässart vorgegeben: Doppelgelenk-Trolleybusse für BRT-Varianten und Trams für Tramvarianten. Bei den Ergänzungslinien werden die Gefässe differenziert, um die Taktfolgen zu optimieren; möglich sind: Standardbus, Gelenkbus und Anhängerzug.

8.2.3 Ermittlung der Bemessungsnachfrage

Zur Ermittlung der Bemessungsnachfrage wurde ausgehend von den erwähnten Nachfadedaten (siehe Kapitel 4.2) die Belastung während der Spitzentunde ermittelt. Dazu wurde folgende Berechnungsformel verwendet [Weidmann 2011b]:

$$N_h = 0.5 \times N_{Linie} \times f_{Werntag} \times f_{Stunde} \times (1 + f_{Streuung} \times f_{Spitze})$$

N_h	Belastung während Spitzentunde [P / h und Richtung]
N_{Linie}	Durchschnittsnachfrage im betreffenden Linienabschnitt [P / Tag], beide Richtungen
$f_{Werntag}$	Zuschlag zur Umrechnung der mittleren Tagesnachfrage auf die Werktagsnachfrage
f_{Stunde}	Faktor der betreffenden Tagesstunde
$f_{Streuung}$	Standardabweichung bezogen auf Mittelwert
f_{Spitze}	Spitzenfaktor beziehungsweise Faktor der Standardabweichung

Der Faktor 0.5 in der Berechnungsformel dient dazu, die Durchschnittsnachfrage in einer Richtung aus der Durchschnittsnachfrage im betreffenden Linienabschnitt in beide Richtungen zu berechnen.

Für die vier Faktoren $f_{Werktag}$, f_{Stunde} , $f_{Streuung}$ und f_{Spitze} wurden folgende Werte verwendet:

$f_{Werktag}$	1.0 (da die Nachfragedaten bereits für Werkstage vorliegen)
f_{Stunde}	0.15 für die Spitzenstunde (typischer Wert für den radialen Stadtverkehr gemäss [Weidmann 2011b])
$f_{Streuung}$	0.25
f_{Spitze}	1.5 (d.h. als Bemessungstag gilt jener, an welchem die Nachfrage den Mittelwert um die 1.5-fache Standardabweichung überschreitet)

Die Faktoren $f_{Streuung}$ und f_{Spitze} wurden so gewählt, dass die Bemessungsnachfrage um $1.5 \times 0.25 = 37.5\%$ höher als die Durchschnittsnachfrage ist. Bezogen auf 250 Werkstage im Jahr ist die effektive Nachfrage an 17 Werktagen höher, an 233 Tagen gleich oder kleiner als die Bemessungsnachfrage; es handelt sich bei der Bemessungsnachfrage also nicht um die absolute Nachfragespitze.

Für jeden Netzabschnitt wurde auf diese Weise die Bemessungsnachfrage ermittelt und im Folgenden zur Berechnung der Kennwerte verwendet.

8.2.4 Weitere Annahmen und Konstanten

Kapazität der Fahrzeuge

Für die Ermittlung des Fassungsvermögens der Fahrzeuge wurde von einer maximalen Belegung der Stehflächen von 3 Personen pro Quadratmeter ausgegangen. Mit dieser Festlegung wurden folgende Fassungsvermögen ermittelt:

- Standardbus 53 P.
- Gelenkbus 97 P.
- Anhängerzug 109 P.
- Doppelgelenkbus 129 P.
- Tram 220 P.

Kostenfaktoren

Für die Investitionskosten wurden pauschale Kostensätze (Erfahrungswerte) benutzt:

- Tram-Infrastruktur (inkl. Haltestellen etc.): CHF 35 Mio. / km
- BRT-Infrastruktur (inkl. Haltestellen etc.): CHF 15 Mio. / km

Auch für die Ermittlung der Betriebskosten wurde von groben Richtwerten (Erfahrungswerten) ausgegangen (basierend auf [Weidmann 2011a]):

- Tram: CHF 13.5 / Fzkm
- Standardbus: CHF 7 / Fzkm
- Gelenkbus: CHF 8 / Fzkm
- Anhängerzug: CHF 8.5 / Fzkm
- Doppelgelenktrolleybus: CHF 9 / Fzkm

Diese Werte stellen Vollkosten dar.

Geschwindigkeitszuschlag für eigentraffierte Systeme

Für eigentraffierte Linien (d.h. BRT- oder Tramlinien) wurde ein Geschwindigkeitszuschlag von 10% gegenüber den heutigen Fahrzeiten verwendet.

Distanzgewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit

Für Abschnitte, bei denen keine Fahrzeit aufgrund der Fahrplandaten ermittelt werden konnte, wurde die distanzgewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit der übrigen Abschnitte (ohne Ägerital) von 22.4 km/h als Basis verwendet.

Minimale Wendezzeit

Die minimale Wendezzeit pro Endpunkt wurde mit 3 Minuten angenommen

Verteilung der Nachfrage auf mehrere Linien

Bei Überlagerung mehrerer Linien in einem Netzabschnitt wurde die Nachfrage wie folgt verteilt:

- Sich überlagernde Kernlinien (d.h. Linien des neuen Systems) werden gleich stark belastet.
- Sich überlagernde Ergänzungslinien (d.h. konventionelle Buslinien) werden gleich stark belastet.
- Überlagern sich Kern- und Ergänzungslinien, wird eine Kernlinie immer doppelt so stark belastet wie eine Ergänzungslinie.

Mindestreserve

Die Mindestreserve wurde mit 15% des Fahrzeugparks, aber minimal 3 Fahrzeugen, angenommen.

8.2.5 Berechnung der Indikatoren

Basierend auf der Erfassung der Netzabschnitte pro Linie, der ausgefüllten Verbindungs-matrix, der Daten zum Netz, der Bemessungsnachfrage pro Abschnitt und der Annahmen und Konstanten wurden pro Variante alle zur Bewertung notwendigen Indikatoren berechnet. Das resultierende Mengengerüst ist im Anhang vorhanden.

8.2.6 Berechnung der Nutzwerte

Die Bewertung erfolgte nach System getrennt anhand einer linearen Nutzwertanalyse. Für jeden Indikator wurden für den besten von einer Variante des betreffenden System erreichten Wert 10, für den schlechtesten entsprechenden Wert 1 Punkt vergeben. Die einzelnen Indikatoren wurden gleich stark gewichtet.

Die detaillierte Bewertung findet sich im Anhang.

8.3 Ergebnisse der Bewertung

8.3.1 Tramvarianten

Wie Abbildung 61 zeigt, schnitt bei den Tramnetzentwürfen die Variante T2(6) mit 2 Linien am besten ab. Um eine etwas grössere Bandbreite an Möglichkeiten abzudecken, wurde auch die beste Variante mit nur einer Linie, T1(2), weiter berücksichtigt.

Kriterien / Varianten		T1 (1)	T1 (2)	T1 (3)	T2 (1)	T2 (2)	T2 (3)	T2 (4)	T2 (5)	T2 (6)	T2 (7)	T2 (8)	T2 (9)	T2 (10)
Investitionskosten Kernnetz	[Mio. CHF]	349	402	752	589	637	637	538	538	1061	1061	941	941	873
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzensstunde	[CHF]	7255	6867	7763	7370	8087	8129	7127	6899	8422	9044	6750	7290	7252
Anteil Eigentrassierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	28%	31%	50%	43%	44%	44%	41%	41%	68%	68%	63%	63%	57%
Erreichte Gesamtpunktzahl	[-]	324	321	328	316	324	328	309	308	330	328	308	308	325
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Erg. zur Stadtbahn)	[-]	4	6	4	8	8	8	7	7	8	8	7	7	6
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark, nur bei Tram	[%]	33%	30%	23%	20%	18%	17%	20%	20%	15%	15%	18%	16%	19%
Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	89%	87%	86%	84%	89%	81%	88%	82%	91%	87%	90%	86%	82%
Nutzenpunkte	[-]	5.20	5.87	5.47	6.30	7.15	6.43	6.28	5.51	7.78	6.80	6.80	6.19	6.01

Abbildung 61: Bewertung Tram

8.3.2 BRT-Varianten

Bei den BRT-Netzentwürfen schnitt die Variante BRT3(1) mit 3 Linien am besten ab (siehe Abbildung 62). Am zweitbesten war die Variante BRT2(3) mit 2 Linien. Diese wurde ebenfalls weiter berücksichtigt, um eine etwas grössere Bandbreite an Möglichkeiten abzudecken.

Kriterien / Varianten		BRT2 (1)	BRT2 (2)	BRT2 (3)	BRT2 (4)	BRT3 (1)	BRT3 (2)	BRT3 (3)	BRT3 (4)	BRT3 (5)	BRT3 (6)	BRT3 (7)
Investitionskosten Kernnetz	[Mio. CHF]	343	348	403	409	415	459	568	481	611	606	619
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzensstunde	[CHF]	8467	8472	9781	9648	8633	9615	9282	8447	10873	10886	10770
Anteil Eigentrassierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	51%	50%	61%	60%	64%	73%	83%	82%	93%	93%	90%
Erreichte Gesamtpunktzahl	[-]	330	327	333	329	330	331	330	331	333	332	331
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Erg. zur Stadtbahn)	[-]	8	9	9	10	10	10	10	8	10	9	10
Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	89%	90%	92%	90%	90%	88%	87%	89%	91%	91%	90%
Nutzenpunkte	[-]	5.41	5.50	6.99	6.06	7.03	6.04	5.66	5.92	6.63	5.61	5.76

Abbildung 62: Bewertung BRT

8.4 Sensitivitätsanalyse

8.4.1 Erläuterung

Die Ergebnisse wurden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, um zu untersuchen, wie robust die Bewertung der Varianten bezüglich veränderter Gewichtungen ist. Vorerst wurden alle Kriterien gleich stark gewichtet. Zusätzlich wurde jeweils ein Kriterium auf 30% erhöht und die übrigen entsprechend gesenkt (Summe=100%). Damit wurde jeweils pro Szenario ein bestimmtes Kriterium hervorgehoben.

8.4.2 Sensitivitätsanalyse Tramvarianten

Die beste Tramvariante T2(6) reagierte sehr robust. Auch mit einer stark veränderten Gewichtung verblieb sie in den allermeisten Szenarien auf dem ersten Platz. Auch in den Szenarien, bei denen sie nicht die beste Variante war, blieb sie stets über einem Wert von 6.5 Punkten (von 10 möglichen). Zudem waren die Varianten T2(2) und T2(8), welche bei den Szenarien mit starker Gewichtung der Investitionskosten respektive der Betriebskosten die

jeweils besten Nutzwerte erreichten, bei allen übrigen Szenarien immer schlechter als Variante T2(6).

Auch die beste Tramvariante mit nur einer Tramlinie, T1(2), reagierte robust, wenn auch weniger eindeutig. Variante T1(3) erreichte bei drei von sieben Szenarien einen besseren Nutzwert als die Bestvariante; deren Werte blieben allerdings immer relativ nahe an den jeweiligen Bestwerten.

Szenario / Variante	T1 (1)	T1 (2)	T1 (3)	T2 (1)	T2 (2)	T2 (3)	T2 (4)	T2 (5)	T2 (6)	T2 (7)	T2 (8)	T2 (9)	T2 (10)
Alle gleich	5.20	5.87	5.47	6.30	7.15	6.50	6.28	5.51	7.78	6.80	6.80	6.19	6.01
Investitionskosten	6.08	6.51	5.37	6.42	7.00	6.47	6.53	5.90	6.53	5.74	6.01	5.52	5.53
Betriebskosten	5.72	6.55	5.58	6.53	6.71	6.23	6.69	6.23	6.98	5.74	7.39	6.50	6.38
Zuverlässigkeit	4.43	5.10	5.58	5.95	6.70	6.17	5.85	5.23	8.18	7.39	7.19	6.69	6.28
Verbindungen	5.63	5.95	6.15	5.92	7.22	6.99	5.39	4.69	8.18	7.24	5.74	5.24	6.37
Erschlossene Gebiete	4.43	5.80	4.65	6.97	7.67	7.14	6.55	5.92	8.18	7.39	6.97	6.48	5.92
Reservefahrzeuge	4.43	5.28	5.58	6.52	7.43	6.99	6.51	5.89	8.18	7.39	7.15	6.82	6.40
Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit	5.68	5.92	5.41	5.75	7.30	5.49	6.45	4.75	8.18	6.74	7.15	6.10	5.19

Abbildung 63: Sensitivitätsanalyse Tramvarianten; grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario und Gruppe (eine / zwei Tramlinien); rötlich hinterlegt: zweitbeste Wert pro Szenario und Gruppe

8.4.3 Sensitivitätsanalyse BRT-Varianten

Auch die besten BRT-Varianten (je eine mit zwei respektive 3 Linien) reagierten sehr robust. Die Bestvariante mit drei Linien, BRT3(1), erreichte im Schnitt deutlich höhere Werte als die zweitbeste Variante mit 3 Linien, BRT3(5); zudem fielen ihre Nutzwerte in keinem Szenario unter 6.5 von 10 Punkten. Die Bestvariante mit zwei BRT-Linien, BRT2(3), reagierte am robustesten, sie erreichte bei allen Szenarien den besten Nutzwert.

Szenario / Variante	BRT2 (1)	BRT2 (2)	BRT2 (3)	BRT2 (4)	BRT3 (1)	BRT3 (2)	BRT3 (3)	BRT3 (4)	BRT3 (5)	BRT3 (6)	BRT3 (7)
Alle gleich	5.41	5.50	6.99	6.06	7.03	6.04	5.66	5.92	6.63	5.61	5.76
Investitionskosten	6.14	6.19	7.15	6.34	7.13	6.07	5.18	5.85	5.77	4.95	5.00
Betriebskosten	6.13	6.21	6.68	5.98	7.39	5.99	5.86	6.58	5.74	4.88	5.07
Zuverlässigkeit	4.73	4.78	6.40	5.60	6.55	6.02	6.01	6.21	7.15	6.32	6.32
Verbindungen	5.42	4.78	7.47	5.73	6.78	6.20	5.63	6.10	7.17	6.08	5.96
Erschlossene Gebiete	4.70	5.50	6.75	6.69	7.50	6.68	6.35	5.14	7.17	5.60	6.44
Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit	5.32	5.55	7.47	6.00	6.81	5.30	4.91	5.67	6.78	5.88	5.78

Abbildung 64: Sensitivitätsanalyse BRT-Varianten; grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario und Gruppe (zwei / drei BRT-Linien); rötlich hinterlegt: zweitbeste Wert pro Szenario und Gruppe

8.5 Bemerkung zur Bewertung 1. Stufe

Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass die Bewertung 1. Stufe nur einen Vergleich innerhalb desselben Systems (Tram oder BRT) zulässt, nicht aber zwischen den Systemen. Dieser Quervergleich erfolgte in der Bewertung 2. Stufe mit den gewählten Bestvarianten.

9. Bewertung 2. Stufe

9.1 Vorgehen

Mit der zweiten Bewertungsstufe sollte die Hauptfrage geklärt werden, ob ein Tramsystem für den Raum Zug in Frage kommen könnte. Nun wurden je zwei in der Bewertung 1. Stufe ermittelte BRT- und Tramvarianten sowie die Variante Busplus (basierend auf dem Busangebot 2014) miteinander verglichen. Folgende Varianten wurden also betrachtet:

- Busplus
- Tram1(2) mit einer Tramlinie
- Tram2(6) mit zwei Tramlinien
- BRT2(3) mit zwei BRT-Linien
- BRT3(1) mit drei BRT-Linien

In einem ersten Schritt wurde untersucht, für welche Wachstumsbereiche die betrachteten Varianten überhaupt in Frage kommen. Diese Überlegungen fokussierten auf die Kapazität der Systeme.

In einem zweiten Schritt wurden die Varianten mit einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse vergleichend bewertet.

9.2 Einsatzbereiche in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

9.2.1 Allgemeine Einsatzbereiche von Transportgefäßsen in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Vorerst sollte gezeigt werden, welches die kapazitätsbezogenen Anwendungsbereiche für verschiedene Transportgefäßse sind, d.h. welche Gefäßse bei welchem Nachfragewachstum grundsätzlich in Frage kämen. Für die Gefäßse wurden die in Kapitel 8.2.4 aufgeführten Fassungsvermögen verwendet. Als Basis für die Nachfrage diente die in Kapitel 8.2.3 erläuterte Bemessungsformel, angewendet auf den heute am stärksten belasteten Linienquerschnitt im Netz: Linie 6 zwischen Stampfi und Stadion mit einem mittleren Werktagsverkehr von 6222 Personen (beide Richtungen).

Es sollte verallgemeinert gezeigt werden, ab welchem Nachfragewachstum die jeweiligen Transportgefäßse überhaupt in Frage kommen und bei welchem Nachfragewachstum sie an ihre Leistungsgrenzen stossen. Die obere und untere Grenze wurden wie folgt festgelegt:

- Untere Grenze: Es muss mindestens ein 15-Minuten-Takt erforderlich sein, um die Nachfrage während der Spitzentunde mit dem jeweiligen Fassungsvermögen zu bewältigen. Ein weniger dichtes Angebot während der Spitzentunde wäre qualitativ ungenügend.
- Obere Grenze: Kein dichteres Angebot als 4-Minuten-Takt (Bus) respektive 6-Minuten-Takt (Tram). Dichtere Angebote können kaum stabil betrieben werden, insbesondere wenn es in gewissen Bereichen zu Linienüberlagerungen kommt (was im Raum Zug der Fall ist); zudem kann die Kapazität für den MIV zu stark eingeschränkt werden und die Kapazität der Haltebuchten wird ebenfalls kritisch.

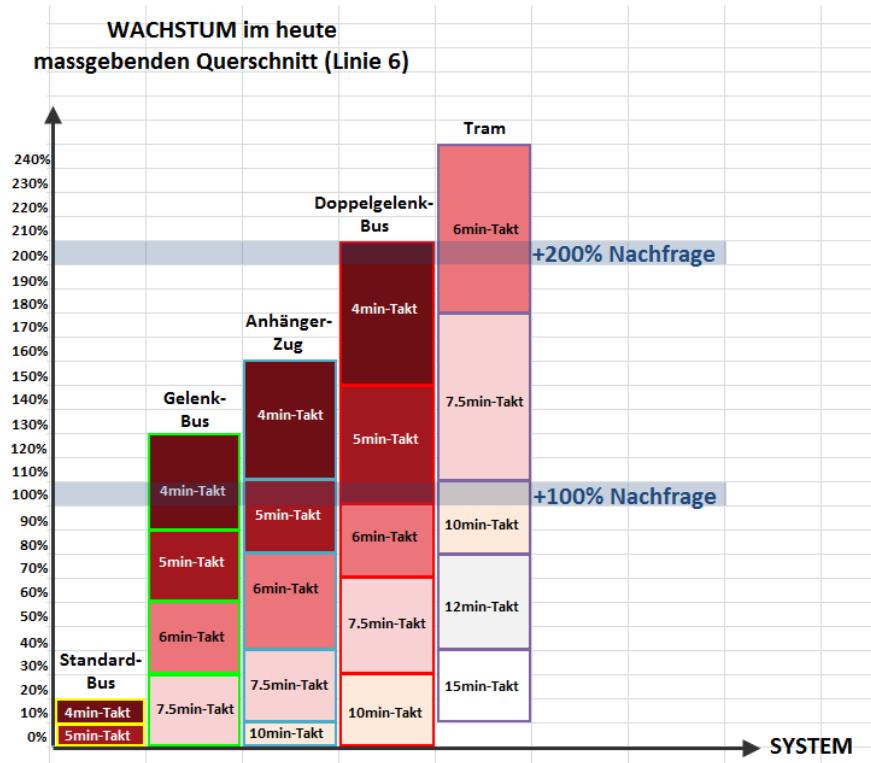


Abbildung 65: Systemleistungsfähigkeiten in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Abbildung 65 zeigt, dass bei einer Bedienung ausschliesslich mit Standardbussen die Leistungsfähigkeitsgrenzen rasch erreicht werden und somit kein grösseres Nachfragewachstum erfolgen kann (max. +10%). Mit grösseren Bussen, bis zum Extremfall Doppelgelenkbus, kann mit einer Taktfolge von 4 Minuten eine bis zu 200-prozentige Nachfragesteigerung im massgebenden Querschnitt bewältigt werden. Selbst mit Gelenkbussen im 4min-Takt kann noch ein Wachstum von über 100% aufgefangen werden. Die Analyse zeigt, dass mit einer verallgemeinerten Querschnittsbetrachtung aus Sicht der Kapazität ein Tram nicht zwingend benötigt wird, anderseits aber bereits bei einem mässigen Wachstum als System in Frage käme.

Die Betrachtung der Systemleistungsfähigkeit alleine erlaubte also noch nicht die Beantwortung der Fragestellung, ob ein Tramsystem angemessen wäre. Vielmehr musste diese anhand der konkreten Varianten untersucht werden.

9.2.2 Variantenbezogene Einsatzbereiche in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Die fünf betrachteten Varianten wurden hinsichtlich ihres Einsatzbereichs in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum auf dem betrachteten Netz beurteilt. Dabei wurden die Grenzen der Einsatzbereiche analog zu Kapitel 9.2.1 definiert. Allerdings galten diese Grenzen nur für Linien des Kernnetzes, also Tram- oder BRT-Linien. Bei der Variante Busplus, welche per Definition nur Ergänzungslinien aufweist, wurden für diese die obere, nicht aber die untere Grenze untersucht.

Für die Verteilung des Nachfragewachstums auf das Netz wurden dieselben Faktoren wie bei der Bewertung 1. Stufe verwendet (siehe Kapitel 8.2.1).

Busplus

Bei dieser Variante werden Anhängerzüge als grösstes Gefäss eingesetzt. Als Vereinfachung wurde angenommen, dass bei einem Nachfragewachstum bis 60% auf allen Linien Gelenkbusse, ab 60% auf allen Linien Anhängerzüge im Einsatz sind.

Die Variante ist in der Lage, ein Nachfragewachstum von bis zu 150% zu bewältigen. Allerdings kann die Nachfrage bereits bei einem Nachfragewachstum ab 100% nur noch mit sehr hohen Frequenzen auf mehreren Linien bewältigt werden, die sich teilweise auf gewissen Abschnitten überlagern (z.B. Linien 6, 7 und 8 in Cham, Linien 1, 3 und 11 in der Zuger Altstadt). Dies könnte bereits im Bereich von 100% Wachstum zu erheblichen Problemen führen (Kapazität Haltestellenbuchen / Eigenbehinderung, Einschränkung Kapazität MIV, Betriebsstabilität usw.).

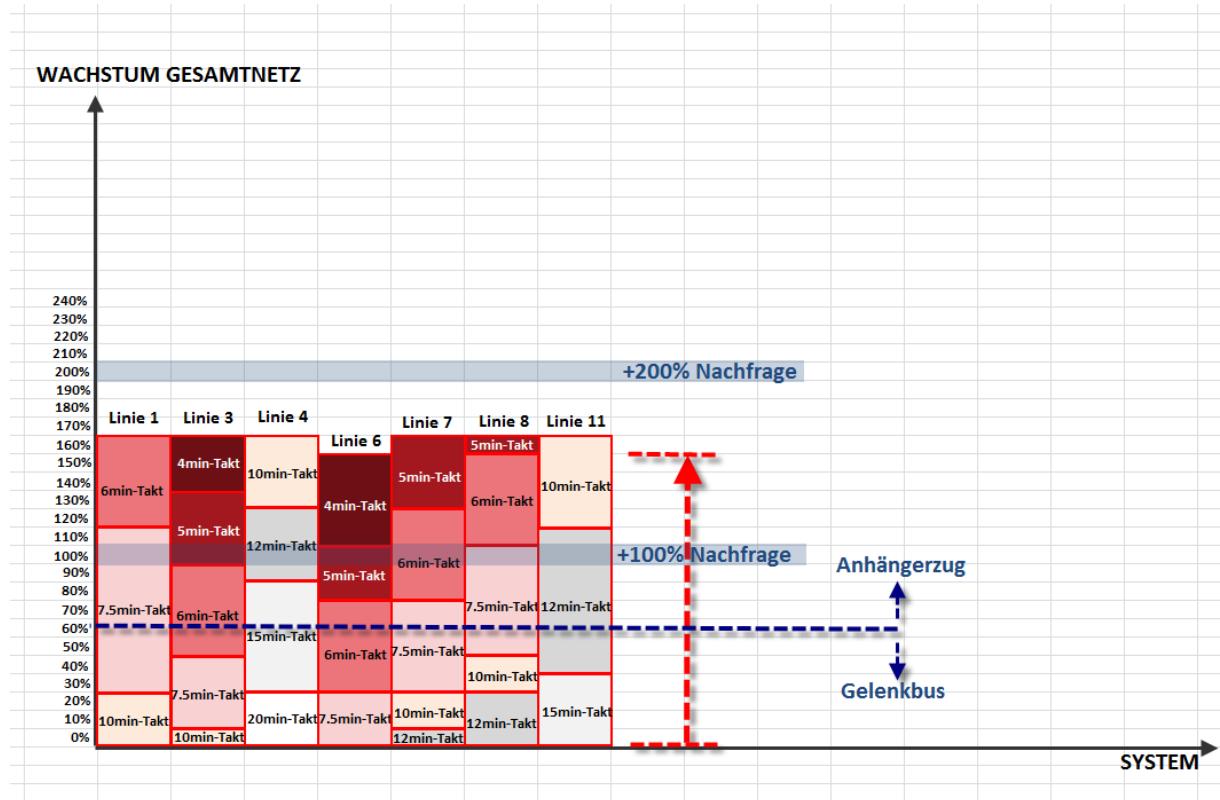


Abbildung 66: Einsatzbereich Variante Busplus in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Tram1(2)

Bei dieser Tramvariante mit nur einer Tramlinie wird die Nachfrage sehr stark gebündelt und in einigen Streckenteilen nur auf diese eine Tramlinie geleitet. Aus diesem Grund ist der Bereich, in dem diese Variante in Erwägung gezogen werden kann, bereits bei einem Nachfragewachstum von 10% erreicht, d.h. ab diesem Nachfragewachstum erfordert die Nachfragebewältigung bei der Tramlinie einen 15-Minuten-Takt. Die obere Grenze wird erst bei einem Nachfragewachstum von über 200% erreicht.

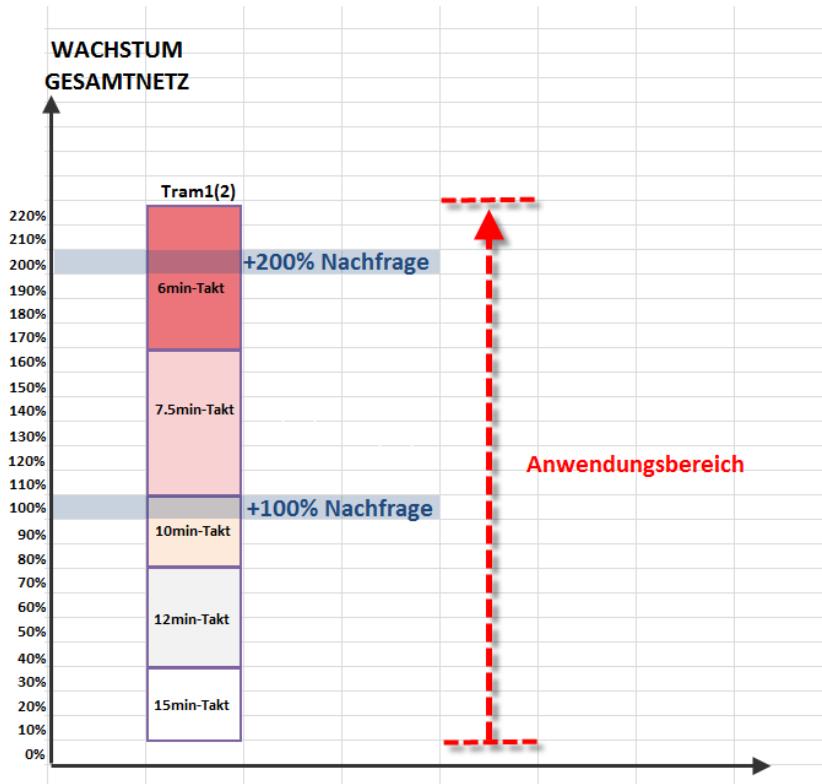


Abbildung 67: Einsatzbereich Variante Tram1(2) in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Tram2(6)

Diese Variante beinhaltet zwei Tramlinien, wovon eine (Linie A Cham – Sumpfstrasse – Baar – Zug – Ägeri) im massgebenden Querschnitt eine deutlich geringere Nachfrage aufweist als die zweite Linie (Linie B Cham – Steinhausen – Zug – Mänibach). Die Nachfrage auf Linie A erfordert erst bei einem Nachfragewachstum von 30% einen 15-Minuten-Takt, was die untere Grenze des Einsatzbereichs bildet. Die obere Grenze wird durch die sehr stark nachgefragte Linie B gebildet, welche die Nachfrage im massgebenden Querschnitt ab 160% Nachfragewachstum nicht mehr mit einem 6-Minuten-Takt bewältigen kann.

Bei dieser Variante verkehrt in Steinhausen keine zusätzliche Ergänzungsbuslinie parallel zur Linie B (siehe Abbildung 40), weshalb die sehr starke Nachfrage in diesem Bereich für die obere Leistungsfähigkeitsgrenze massgebend wird. Dies ist auch der Grund, weshalb ein geringeres Wachstum bewältigt werden kann als mit der Variante Tram1(2), bei welcher eine entsprechende parallele Ergänzungsbuslinie in Steinhausen vorhanden ist (siehe Abbildung 33).

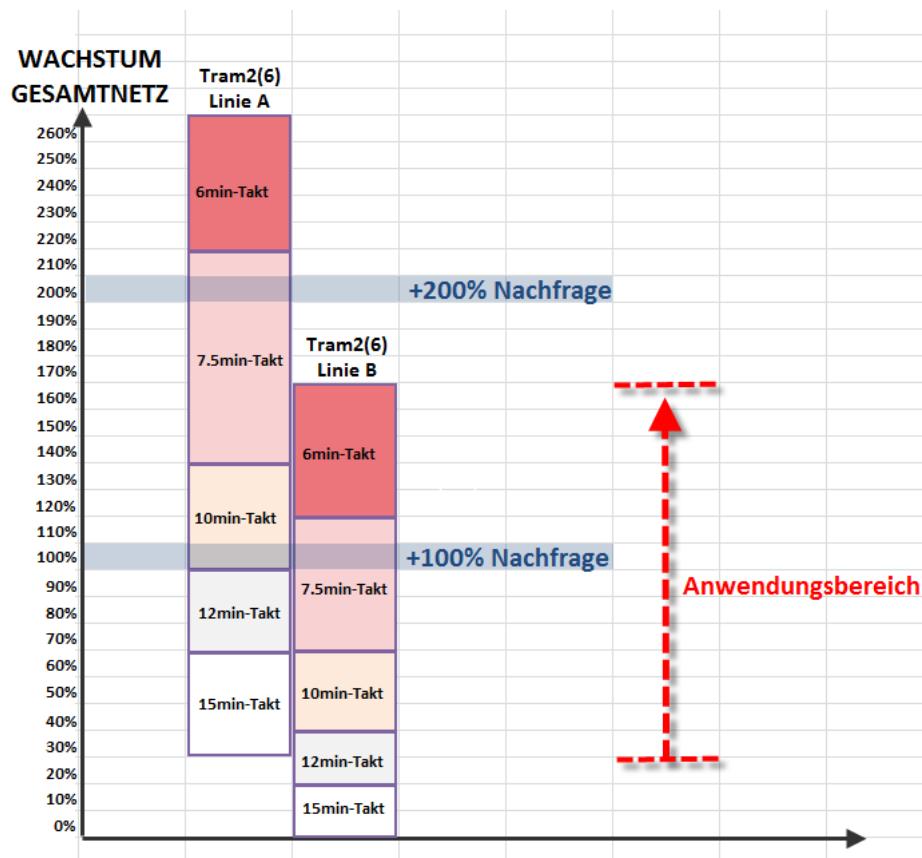


Abbildung 68: Einsatzbereich Variante Tram2(6) in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

BRT2(3)

Diese BRT-Variante weist zwei stark nachgefragte Linien auf, welche bereits zur Bewältigung der heutigen Nachfrage einen dichtenen Takt als der als Grenze verwendete 15-Minuten-Takt benötigen. Folglich ist diese Variante bereits mit 0% Wachstum denkbar. Aufgrund der sehr stark nachgefragten Linie A wird die Leistungsfähigkeitsgrenze bereits bei einem Nachfragerwachstum von 130% erreicht.

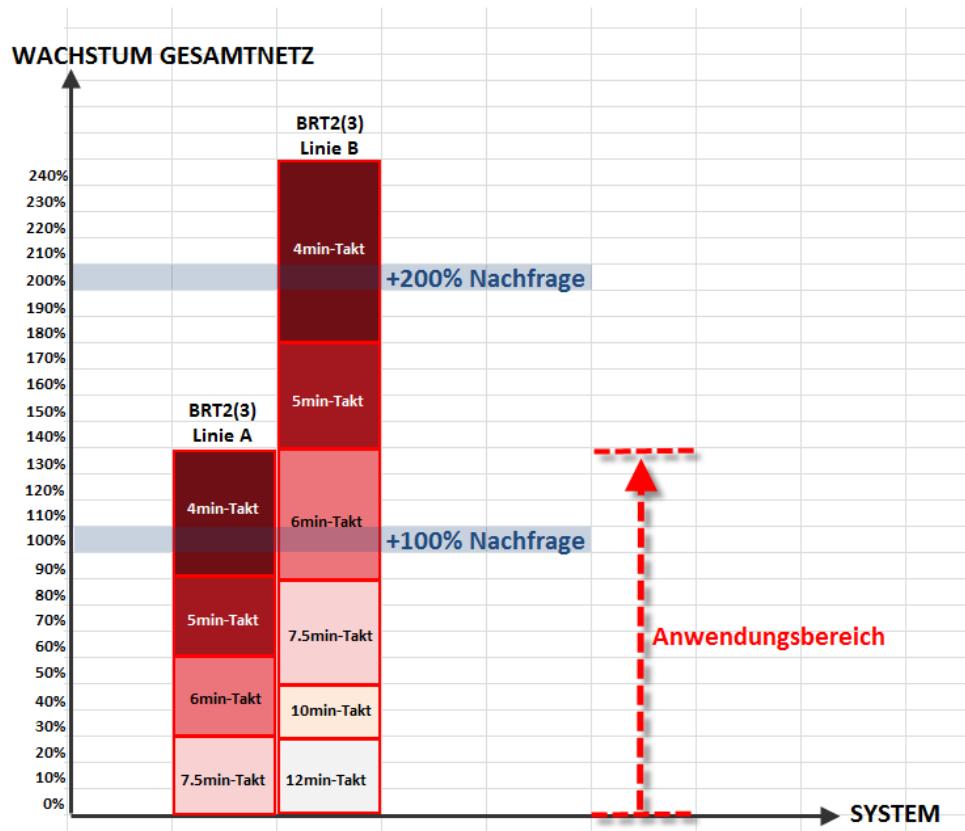


Abbildung 69: Einsatzbereich Variante BRT2(3) in Abhängigkeit vom Nachfragerwachstum

BRT3(1)

Die BRT-Variante mit 3 Linien beinhaltet mit der Linie C (Cham – Sumpfstrasse – Zug – Schönegg) eine eher schwach nachgefragte Linie, welche erst bei einem Nachfragewachstum von 30% einen 15-Minuten-Takt zur Nachfragebewältigung bedingt. Die Variante kann bis 190% Nachfragewachstum bewältigen.

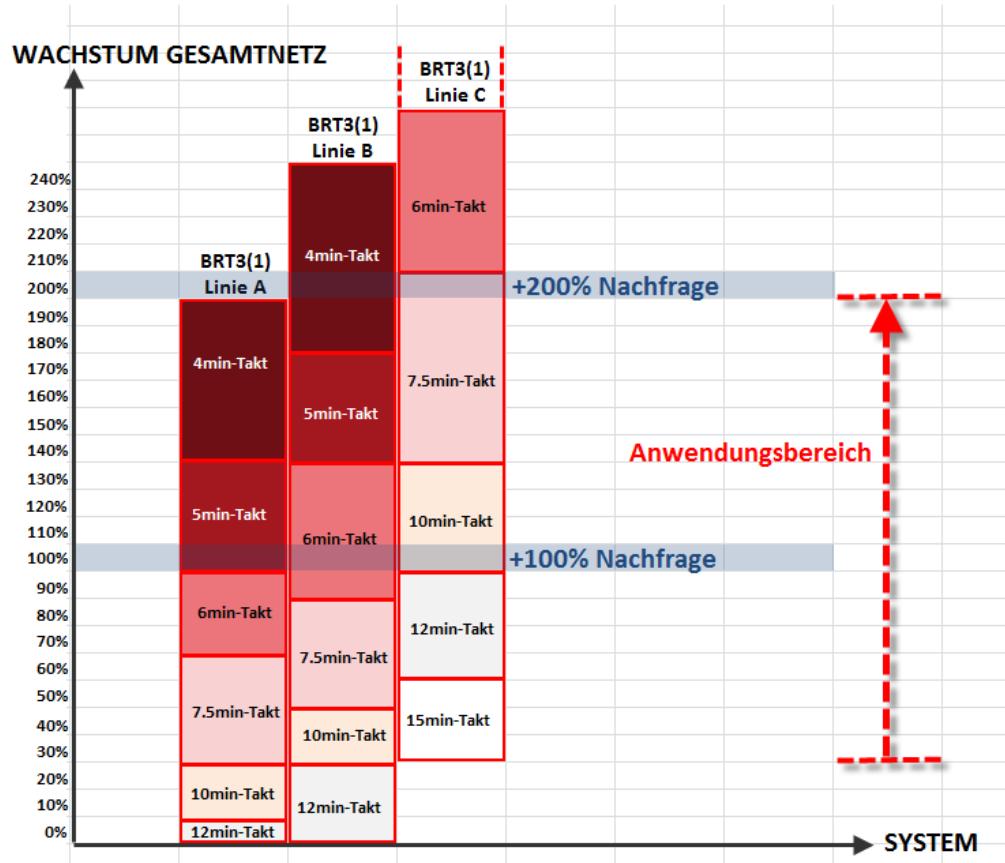


Abbildung 70: Einsatzbereich der Variante BRT3(1) in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

9.2.3 Übersicht und Schlussfolgerungen

Abbildung 71 zeigt nochmals die Einsatzbereiche der verschiedenen Varianten in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum.

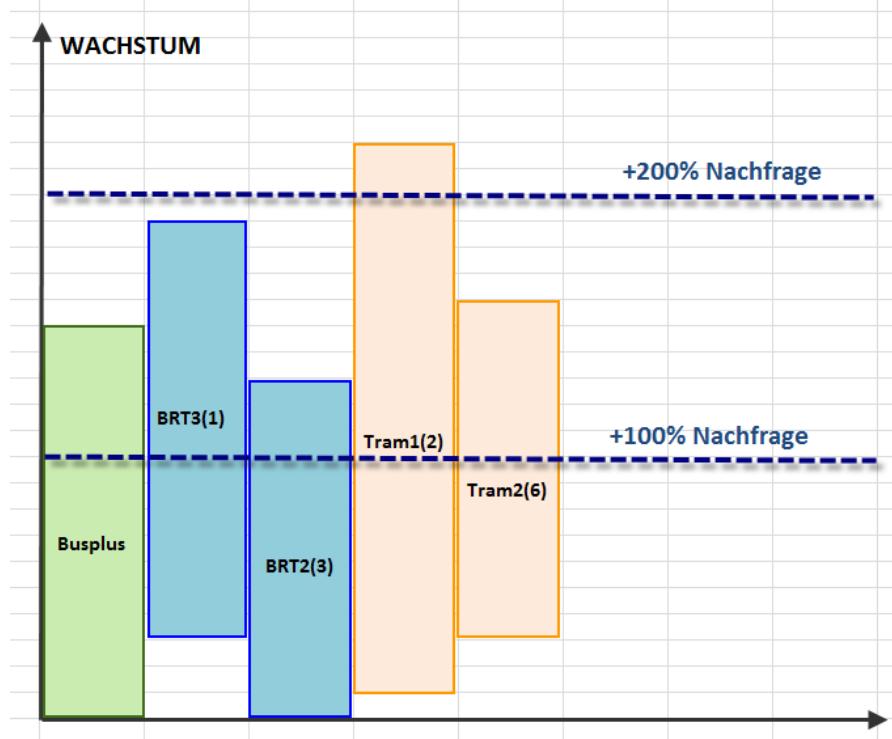


Abbildung 71: Übersicht der Einsatzbereiche der Varianten in Abhängigkeit vom Nachfragewachstum

Aufgrund dieser Analyse lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Variante Busplus, welche auf dem Angebot 2014 basiert, kann theoretisch ein Nachfragewachstum von bis zu 150% bewältigen. Allerdings dürfte sie bereits bei einem Nachfragewachstum von etwa 100% an die Grenzen stossen, da sich in gewissen Abschnitten mehrere Linien mit hohen Frequenzen überlagern, was ohne Eigentrassierung und / oder anderweitige Infrastrukturmassnahmen mit grosser Wahrscheinlichkeit zu Kapazitätsengpässen, Eigenbehinderungen und / oder instabilen Betriebsverhältnissen führen würde. Die vorhandene Leistungsreserve zeigt aber auch, dass eine wachsende Nachfrage nicht dringend zu einem Systemwechsel zwingt.
- Auch die variantenbezogenen Einsatzbereiche erlaubten es nicht, die Angemessenheit eines Tramsystems für Zug abschliessend zu beantworten. Sowohl für die BRT- als auch die Tramvarianten liegt ein Nachfragewachstum von 100% innerhalb des Einsatzbereichs. Zudem kommt ein Tramsystem – je nach Ausprägung – bereits ab einem Nachfragewachstum von 10% in Frage.
- Die rein kapazitätsorientierte Analyse der Einsatzbereiche reichte also nicht aus. Im Folgenden wurden die Varianten deshalb auch unter anderen Gesichtspunkten verglichen.

9.3 Kosten-Wirksamkeits-Analyse

9.3.1 Methodik

Da die Frage der Angemessenheit eines Tramsystems anhand der Kapazitätsüberlegungen im vorhergehenden Abschnitt nicht abschliessend geklärt werden konnte, wurden die fünf betrachteten Varianten mit einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse verglichen. Bei diesem Verfahren werden Kosten und Wirksamkeit in einem ersten Schritt getrennt betrachtet, d.h. es findet keine Monetisierung des Nutzens statt. Dies erlaubt es, aufzuzeigen welche Qualität respektive eben welche Wirksamkeit mit den jeweiligen Kosten erreicht wird. Um die Bestvariante zu ermitteln, kann der Quotient aus Kosten und Nutzen verwendet werden – je kleiner dieser ist, desto besser ist eine Variante.

Es wurden drei Arten von Kosten berücksichtigt, wobei für jede Kostenart die Kosten-Wirksamkeit ermittelt wurde:

- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Gesamtannuitäten

Die Wirksamkeit wurde anhand einer linearen Nutzwertanalyse mittels sieben Kriterien mit je einem Indikator gemessen. Die Methodik ist vergleichbar mit jener in Kapitel 8, allerdings unterscheiden sich gewisse Kriterien und die Kosten wurden wie erwähnt nicht in Nutzenpunkte umgerechnet, sondern blieben monetär. Folgende Kriterien wurden verwendet:

- Flexibilität
- Erschliessungswirkung
- Zuverlässigkeit
- Verbindungen
- Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten
- Takt
- Produktivität Rollmaterial

Im Folgenden werden die Quantifizierung der Kosten sowie die verwendeten Kriterien und Indikatoren näher erläutert.

9.3.2 Quantifizierung der Kosten

Die Kosten wurden wie in Kapitel 8 jeweils für das gesamte betrachtete Netz inklusive Er-gänzungslinien berechnet, damit die Varianten direkt verglichen werden konnten.

Investitionskosten

Die Investitionskosten wurden analog Kapitel 8 mit den im Kapitel 8.2.4 aufgeführten Kos-tensätzen ermittelt:

Busplus	0 Mio. CHF
Tram 1(2)	401.8 Mio. CHF
Tram 2(6)	1060.6 Mio. CHF
BRT 2(3)	403.4 Mio. CHF
BRT 3(1)	414.9 Mio. CHF

Die Kosten für bereits geplante Infrastrukturmassnahmen (siehe Kapitel 3.5) wurden dabei nicht berücksichtigt, da sie bei allen Systemen gleich hoch ausfallen (Realisierung unabhängig von der Systemwahl vorausgesetzt) und die Kostenberechnung einem Vergleich der Varianten dient. Deshalb weist die Variante Busplus Investitionskosten von 0 CHF auf – sie beinhaltet im Gegensatz zu den Systemen Tram und BRT keine zusätzlichen Investitionen.

Betriebskosten

Die Betriebskosten wurden wesentlich detaillierter als in Kapitel 8 erfasst (dort wurden nur die Betriebskosten aufgrund der Laufleistung während einer Spitzentunde berechnet) und setzen sich wie folgt zusammen:

- Betriebskosten aufgrund der Laufleistung während eines Jahres
- Unterhaltskosten des Kernnetzes während eines Jahres
- Zuschlag für übermässige Fahrzeugreserven

Betriebskosten aufgrund der Laufleistung während eines Jahres

Um die Betriebskosten aufgrund der Laufleistung für ein ganzes Jahr zu ermitteln, wurden zusätzlich zur Berechnung für die Spitzentunde (analog Kapitel 8) mittels einer separaten Variantenerfassung die Betriebskosten für je eine NVZ-Stunde und eine RVZ-Stunde pro Variante erfasst. Dazu wurden folgende Annahmen betreffend der Bemessungsformel in Kapitel 8.2.3 getroffen:

f_Stunde_NVZ: 0.06

f_Stunde_RVZ: 0.02

Anhand der Auswertung einer Standard-Ganglinie nach [Weidmann 2011b] wurden Annahmen zur Verteilung der Verkehrszeiten über den Tag getroffen. Dabei wurde unterschieden zwischen HVZ-Stunden (Annahme: gleicher Takt wie Spitzentunde), NVZ-Stunden und RVZ-Stunden.

Werktag und Samstage:

- 7 HVZ-Stunden
- 9 NVZ-Stunden
- 3 RVZ-Stunden

Sonntage:

- 0 HVZ-Stunden
- 14 NVZ-Stunden
- 5 RVZ-Stunden

Ein Jahr enthält im Schnitt 52 Sonntage und 313 Werktag und Samstage.

Auf den Kernlinien wurden fixe Gefäßgrößen zugrunde gelegt (d.h. immer Tram bei Tramvarianten, immer Doppelgelenktrolleybus bei BRT-Varianten), während die Gefäßgrößen bei den Ergänzungslinien zwischen den Verkehrszeiten mit dem Ziel von Optimierungen variiert wurden; insbesondere wurden während der NVZ und RVZ kleine Gefäße, welche aufgrund von Taktausdünnungen für den Betrieb ihrer ursprünglichen Linien nicht benötigt werden, anstelle von grösseren Gefäßen auf anderen Linien eingesetzt.

Die grösste mögliche Gefäßgröße bei Ergänzungslinien und bei der Busplus-Variante war weiterhin der Anhängerzug.

Verkehrten auf einem Abschnitt mehrere Linien, wurde die Aufteilung der Nachfrage vorerst analog zur Bewertung 1. Stufe (Aufteilung siehe Kapitel 8.2.4) automatisch vorgenommen, anschliessend aber zusätzlich manuell überprüft und gegebenenfalls angepasst, basierend auf den Verhältnissen in den verwendeten Nachfragedaten [ZVB 2012].

Unterhaltskosten des Kernnetzes während eines Jahres

Für die Berechnung der Infrastruktur-Unterhaltskosten wurden Einheitskostensätze nach [Stadt Zürich 2001] verwendet:

- Tram: 75'000 CHF / Netz-km pro Jahr
- BRT: 50'000 CHF / Netz-km pro Jahr (entspricht Kostensatz Trolleybusnetz)

Zuschlag für übermässige Fahrzeugreserven

Kleine Netze eines neuen Systems führen dazu, dass ein übermässig grosser Teil des entsprechenden Fahrzeugparks als Fahrzeugreserve vorgehalten werden muss. Da auch stehende Fahrzeuge Betriebskosten verursachen, wurde dies über einen Zuschlag für übermässige Fahrzeugreserven berücksichtigt.

Als minimale Fahrzeugreserve wurden 15% des Fahrzeugparks und mindestens 3 Fahrzeuge definiert (siehe Kapitel 8.2.4). Lag der Reserveanteil aufgrund kleiner Netze über 15%, wurde der entsprechende übermässige Reserveanteil in eine theoretische Anzahl Fahrzeuge umgerechnet. Für diese wurden 50 % der durchschnittlichen jährlichen Betriebskosten (aufgrund der Laufleistung) eines Fahrzeugs desselben Typs in den berücksichtigten Varianten ohne übermässige Reserve als Zuschlag für eine übermässige Reserve verrechnet.

Die Zuschläge betrugen:

- Tram: 647'909 CHF pro Jahr und übermässiges Reservefahrzeug
- BRT: 387'605 CHF pro Jahr und übermässiges Reservefahrzeug

Von den berücksichtigten Varianten wies nur die Variante T1(2) mit einem sehr kleinen Tramnetz ein Tram-Fahrzeugreserve von über 15% auf und erhielt entsprechend einen Zuschlag für eine übermässige Reserve.

Die genaue Ermittlung der Zuschläge ist im Anhang ersichtlich.

Gesamte Betriebskosten während eines Jahres

Die gesamten Betriebskosten (Kern- und Ergänzungsnetz) argaben sich aus der Summe der einzelnen Bestandteile (siehe Abbildung 72).

		Busplus	T1(2)	T2(6)	BRT2(3)	BRT3(1)
Betriebskosten aufgrund Laufleistung	[Mio. CHF / a]	35.80	31.35	35.56	38.57	34.35
Unterhaltskosten Kernnetz	[Mio. CHF / a]	0.00	0.86	2.27	1.34	1.38
Zuschlag für überdurchschnittliche Reserve	[Mio. CHF / a]	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00
Total Betriebskosten	[Mio. CHF / a]	35.80	33.18	37.83	39.91	35.73

Abbildung 72: Jährliche Betriebskosten der berücksichtigten Varianten, Kern- und Ergänzungsnetz

Gesamtannuitäten

Die Betrachtung der Gesamtannuitäten sollte eine Einschätzung der jährlich zu leistenden Zahlungen für eine Variante erlauben. Sie setzen sich zusammen aus den jährlichen Betriebskosten und der Annuität der Investitionskosten. Sie berücksichtigen also die jährlichen Zahlungsströme für Investition, Zinskosten und Betriebskosten.

Folgende Annahmen wurden dabei getroffen:

Lebensdauer Infrastruktur: 30 Jahre

Zinssatz: 3%

Die Annuitäten der Investitionskosten wurden mit folgender Formel berechnet:

$$A = S_0 \times \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

A: Annuität der Investitionskosten

So: Investitionskosten (Kreditsumme)

n: Nutzungsdauer (30 Jahre)

i: Kapitalzinssatz (3%)

Die Betriebskosten lagen bereits als jährliche Zahlungen vor und wurden entsprechend zu den Annuitäten der Investitionskosten addiert. Gesamthaft ergeben sich folgende Gesamtannuitäten:

Busplus	35.80 Mio. CHF
Tram 1(2)	53.69 Mio. CHF
Tram 2(6)	91.95 Mio. CHF
BRT 2(3)	60.50 Mio. CHF
BRT 3(1)	56.90 Mio. CHF

9.3.3 Kriterien für die Quantifizierung der Wirksamkeit

Bei der Bewertung 2. Stufe kamen viele der bereits in der Bewertung 1. Stufe verwendeten Kriterien (siehe Kapitel 8.1) zum Einsatz. Die Kostenkriterien wurden in der 2. Stufe wie erläutert separat erfasst. Zusätzlich wurden folgende Kriterien aus der 1. Stufe nicht mehr verwendet:

- Netzgrösse Kernnetz
- Gute Umläufe im Kernnetz

Die Grösse des Kernnetzes wurde für die Bewertung 1. Stufe nur für Tramvarianten verwendet. Da in der Bewertung 2. Stufe Varianten mit unterschiedlichen Systemen verglichen wurden, fiel dieses Kriterium weg. Allerdings wurden die Nachteile sehr kleiner Netze in der 2. Stufe mit einem Zuschlag für übermässige Reserven bei den Betriebskosten berücksichtigt.

Die Güte der Umläufe im Kernnetz liess sich nicht auf die Busplus-Variante anwenden, da diese per Definition nur über ein Ergänzungsnetz verfügt. Zwar wäre es möglich gewesen, auch die Umläufe im Ergänzungsnetz zu bewerten; allerdings könnten Ergänzungslinien gut mit weiteren Linien ausserhalb des betrachteten Netzes verknüpft werden, um Umläufe zu

verbessern. Aus diesem Grund wurde dieses Kriterium weggelassen. Die Produktivität des Rollmaterials wurde zudem mit einem neuen Kriterium gemessen (siehe unten).

Neu kamen folgende Kriterien hinzu:

- Flexibilität
- Erschliessungswirkung
- Takt
- Produktivität Rollmaterial

Die Flexibilität soll grundsätzliche Unterschiede zwischen den Systemen abbilden. Dies erklärt auch, weshalb sie beim Vergleich von Varianten desselben Systems in der ersten Bewertungsstufe nicht verwendet wurde.

Die Erschliessungswirkung soll vor allem die unterschiedlichen Netzgrößen pro Investitionssumme bei den verschiedenen Systemen berücksichtigen. Entsprechend wurde sie in der 1. Stufe ebenfalls nicht als Kriterium verwendet.

Der Takt spiegelt die Qualität des Angebots wider. Er hätte sich auch als Kriterium bei der Bewertung 1. Stufe geeignet; allerdings werden zur Berechnung Grundlagendaten für die verschiedenen Verkehrszeiten pro Variante benötigt, weshalb der Indikator bei der 1. Stufe nicht berechnet werden konnte.

Dasselbe gilt für die Produktivität des Rollmaterials.

Die Kriterien für die Quantifizierung der Wirksamkeit wurden mit einer linearen Nutzwertanalyse (Werte von 1 bis 10) bei gleichmässiger Gewichtung der Kriterien miteinander verrechnet.

Flexibilität

Erläuterung

Je flexibler ein System, desto besser können die notwendigen Infrastrukturausbauten etappiert und desto früher können Teilstrecken genutzt werden. Bei der Busplus-Varianten sind keine Infrastrukturausbauten vorgesehen, entsprechend ist sie am flexibelsten. Die BRT-Varianten benötigen Infrastrukturmassnahmen, allerdings sind diese sehr flexibel nutzbar – auch sehr kleine Teilstücke können bereits befahren werden, und zwar auch mit den bereits vorhandenen Fahrzeugen. Die Tramvarianten sind weniger flexibel, da nur relativ grosse Teilstücke als Etappe sinnvoll betrieben werden können.

Indikator

Direkte, qualitative Vergabe von Nutzenpunkten nach folgenden Kriterien:

- Abzug von 4 Punkten für Tramvarianten
- Abzug von 2 Punkten für BRT-Varianten

Erschliessungswirkung

Erläuterung

Dieses Kriterium soll beurteilen, ob grosse oder nur kleine Teile des Kantons von einem neuen System profitieren. Ein grosses Netz erschliesst mehr Gebiete, Gemeinden und Menschen als ein kleines Netz und ist daher wirksamer.

Indikator

Netzlänge des neuen Systems (Tram oder BRT) in km.

Zuverlässigkeit

Erläuterung

Dieses Kriterium wird analog zur ersten Bewertungsstufe bewertet (Kapitel 0).

Indikator

Anteil eigentrassierter Linienabschnitte an der Gesamtlänge aller Linien (Kernlinien und Ergänzungslinien).

Verbindungen

Erläuterung

Dieses Kriterium wird analog zur ersten Bewertungsstufe bewertet (Kapitel 8.1.5).

Indikator

Anzahl Punkte aus der Verbindungsmaatrix.

Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten

Erläuterung

Dieses Kriterium wird analog zur ersten Bewertungsstufe bewertet (Kapitel 8.1.6).

Indikator

Anzahl der mit dem neuen System erschlossenen Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete, welche nicht mit der Stadtbahn und / oder S-Bahn direkt erschlossen sind. Folgende elf Gebiete wurden berücksichtigt:

- Industrie Bösch
- Chamerried
- Sumpfstrasse (neues Trassee)
- Sumpf Ost (Ammannsmatt)
- Steinhäusen Zentrum
- Zug West (Stadion)
- Zug Nord (Guthirt)
- Zug Nordost (V-Zug)
- St. Martin (Erschliessung auch über Landhaus möglich)
- Metro
- Paradies

Takt

Erläuterung

Der Takt ist ein Qualitätsmerkmal des Angebots. So ist ein Tram im 15min-Takt diesbezüglich weniger attraktiv als eine Buslinie im 5min-Takt. Gemessen wurde hier der durchschnittliche nachfragegewichtete überlagerte Takt über alle Netzabschnitte für einen Werktag.

Dafür wurde zuerst für jeweils eine HVZ-, NVZ- und RVZ-Stunde der nachfragegewichtete überlagerte Takt über alle Abschnitte berechnet:

$$T_{HVZ} = 60 \times \frac{\sum_{i=1}^{24} N_{HVZ,i}}{\sum_{i=1}^{24} K_{HVZ,i} \times N_{HVZ,i}}$$

$$T_{NVZ} = 60 \times \frac{\sum_{i=1}^{24} N_{NVZ,i}}{\sum_{i=1}^{24} K_{NVZ,i} \times N_{NVZ,i}}$$

$$T_{RVZ} = 60 \times \frac{\sum_{i=1}^{24} N_{RVZ,i}}{\sum_{i=1}^{24} K_{RVZ,i} \times N_{RVZ,i}}$$

T_{HVZ}	Nachfragegewichteter überlagerter Takt über alle Abschnitte in HVZ-Stunde
$N_{HVZ,i}$	Nachfrage in HVZ-Stunde auf Abschnitt i
$K_{RVZ,i}$	Anzahl Kurse pro Richtung in HVZ-Stunde auf Abschnitt i (analog für NVZ und RVZ)

Danach wurde der durchschnittliche nachfragegewichtete überlagerte Takt über alle Abschnitte für einen ganzen Werktag berechnet:

$$T_{Werktag} = \frac{h_{HVZ} + h_{NVZ} + h_{RVZ}}{\frac{h_{HVZ}}{T_{HVZ}} + \frac{h_{NVZ}}{T_{NVZ}} + \frac{h_{RVZ}}{T_{RVZ}}}$$

$T_{Werktag}$	Durchschnittlicher nachfragegewichteter überlagerter Takt über alle Abschnitte für einen ganzen Werktag
h_{HVZ}	Anzahl HVZ-Stunden während einem Werktag (analog für NVZ und RVZ)

Indikator

$T_{Werktag}$.

Produktivität Rollmaterial

Erläuterung

Gemessen wurde bei diesem Kriterium die durchschnittliche Anzahl Einsatzstunden pro Fahrzeug im Jahr. Ein Bussystem, welches während der NVZ eine viel geringere Taktfolge aufweist als während der HVZ, schneidet somit entsprechend schlecht ab, da viele Fahrzeuge lediglich für die HVZ vorgehalten werden müssen. Bei Anhängerzügen wurde nur das Zugfahrzeug (Annahme: Standardbus) als Fahrzeug betrachtet.

Indikator

Einsatzstunden pro Fahrzeug und Jahr.

9.3.4 Ergebnisse der Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Betrachtete Varianten

Um die Ergebnisse den Varianten besser zuordnen zu können, werden hier nochmals die betrachteten Varianten abgebildet.

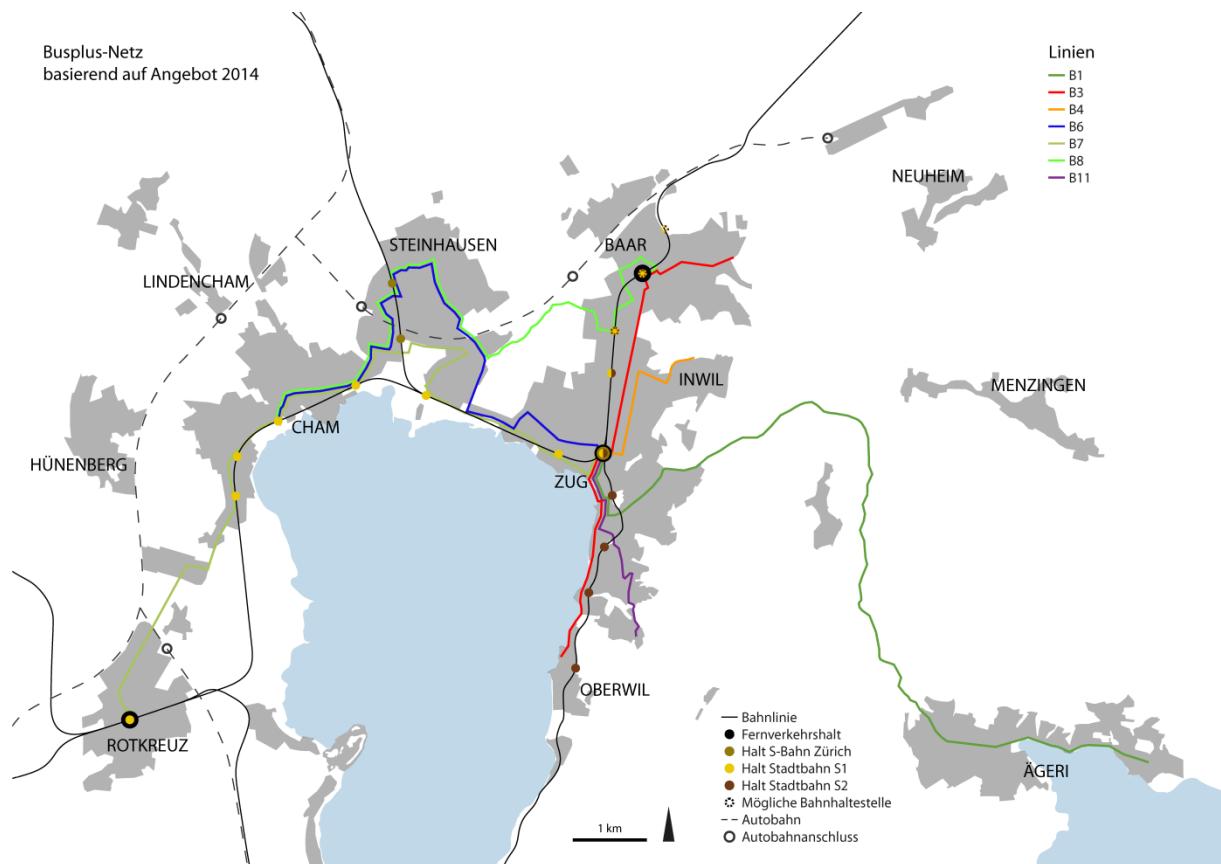


Abbildung 73: Variante Busplus

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

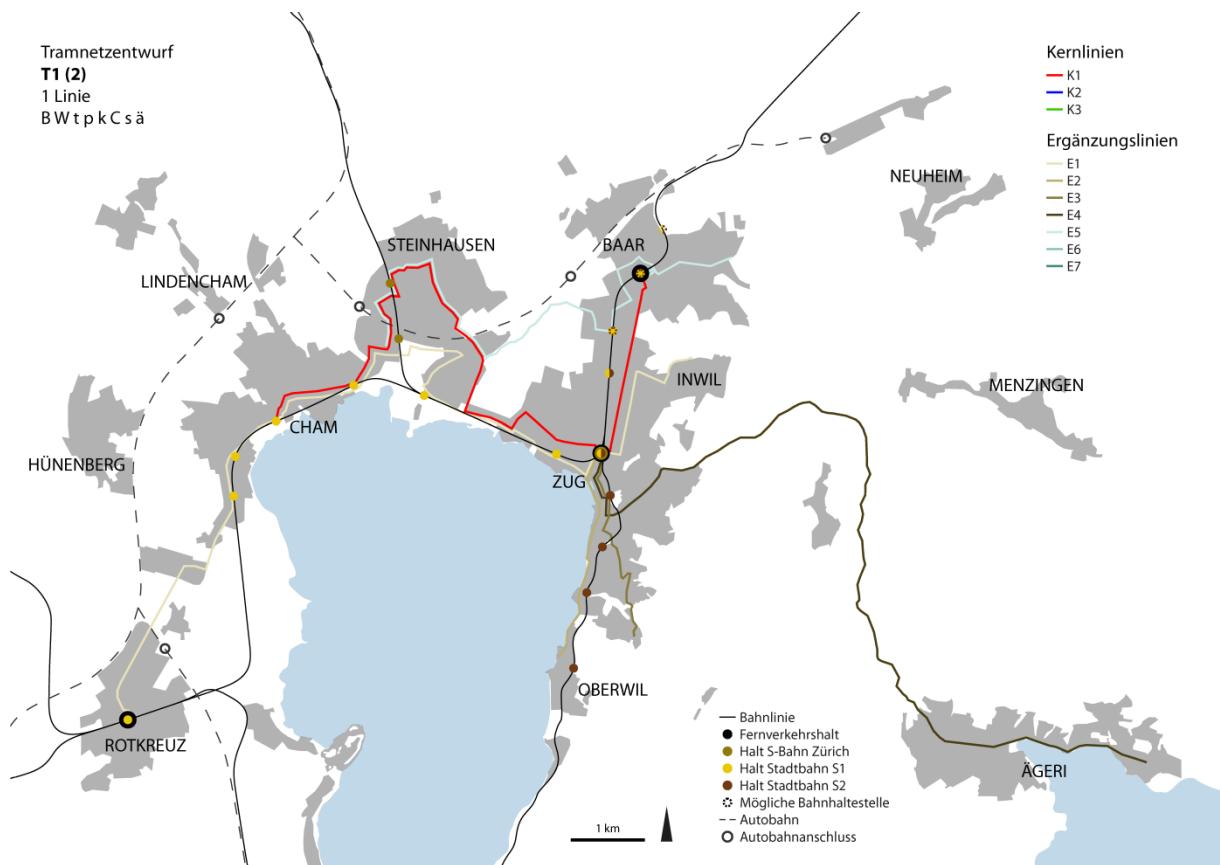


Abbildung 74: Variante T1 (2)

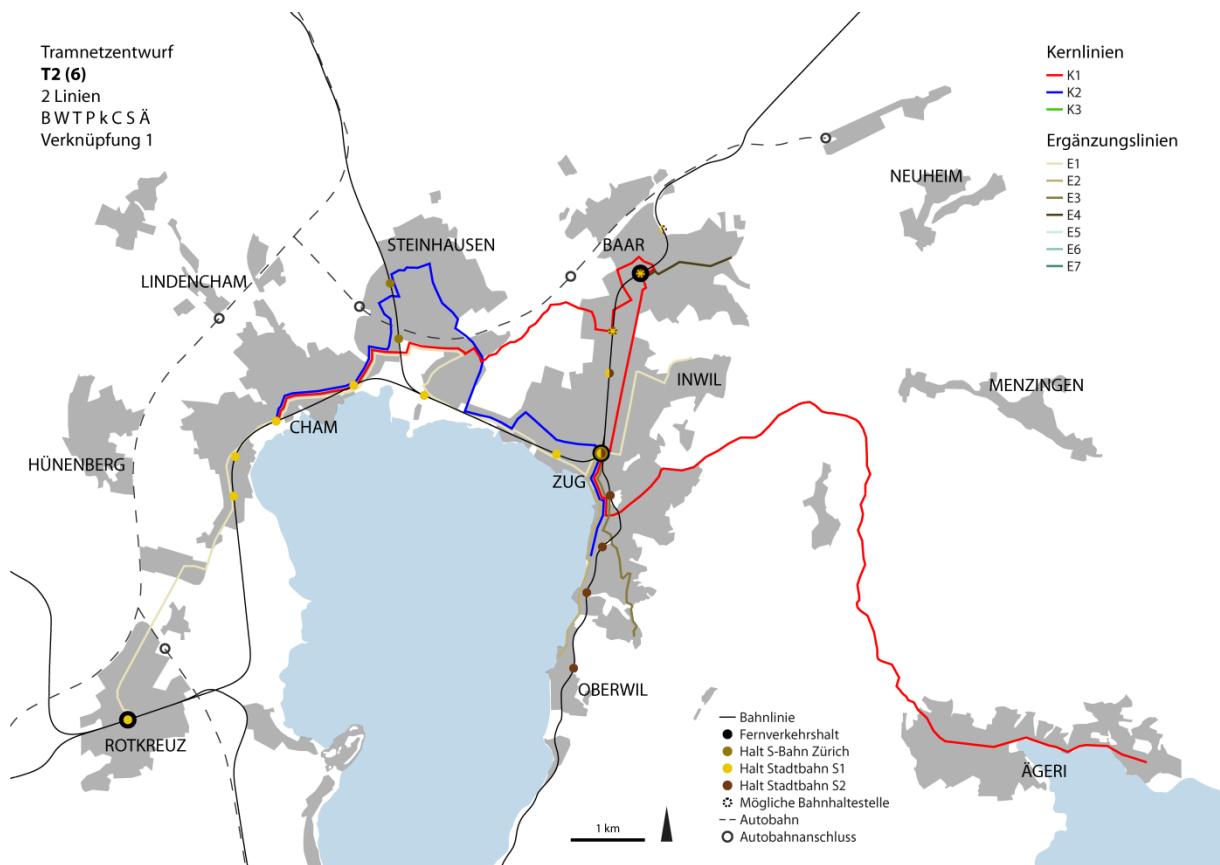


Abbildung 75: Variante T2 (6)

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

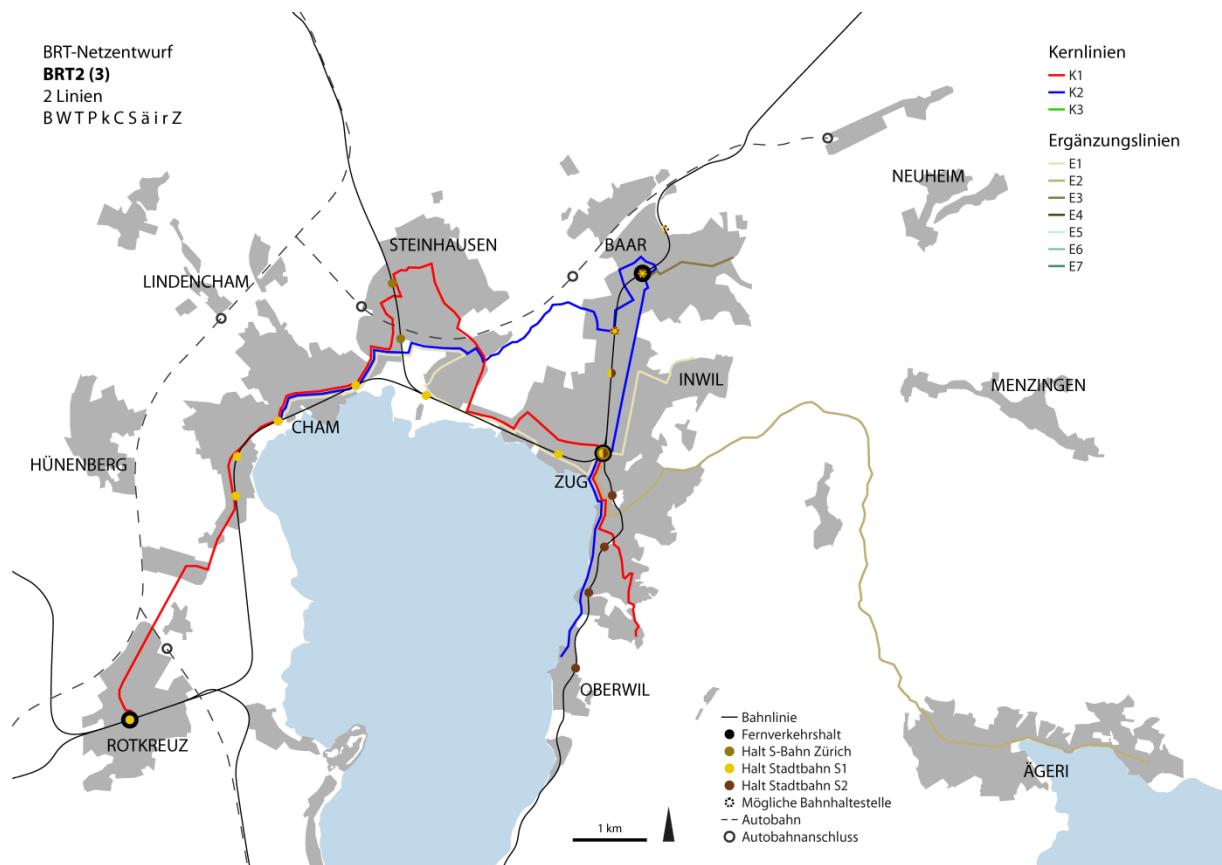


Abbildung 76: Variante BRT2 (3)

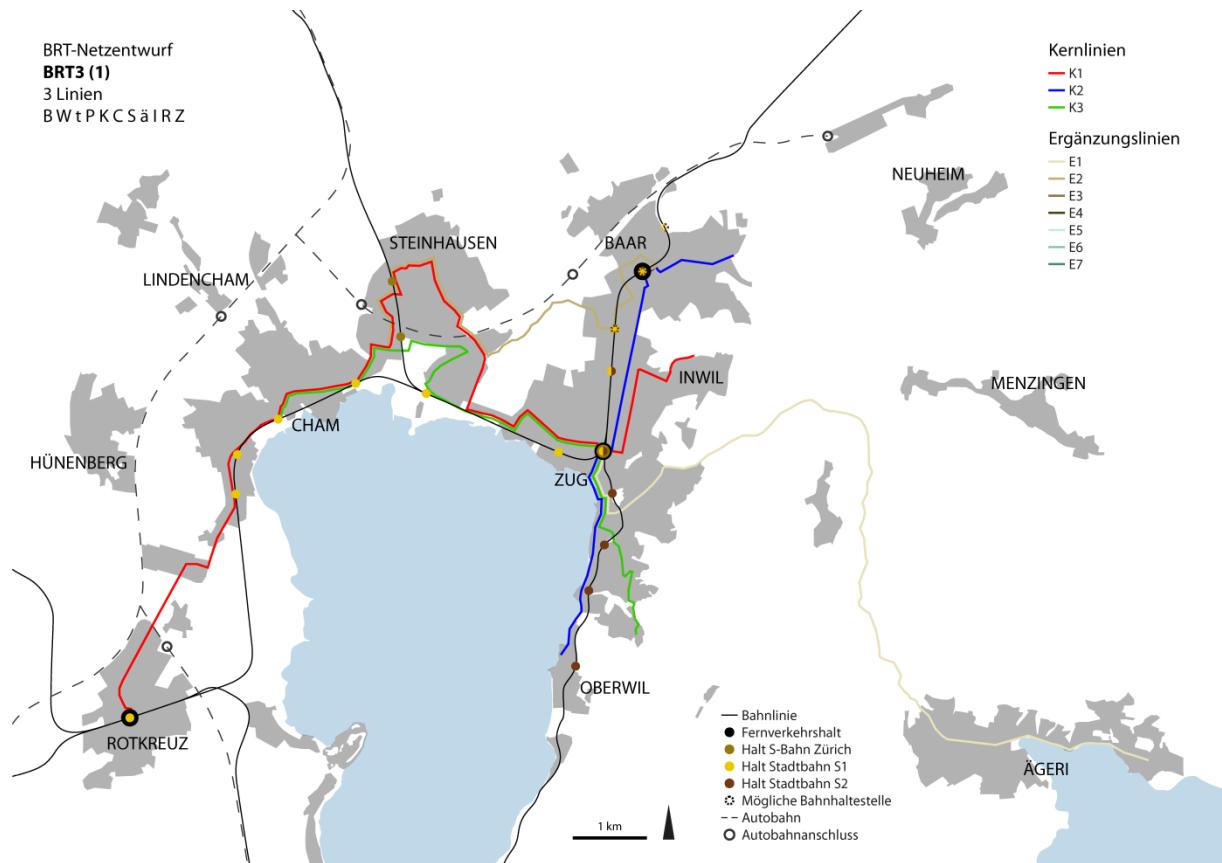


Abbildung 77: Variante BRT3 (1)

Zusammenfassung der Ergebnisse

Abbildung 78 zeigt zusammengefasst die Kosten nach den drei Kostenarten, die Wirksamkeit nach Kriterien mit den jeweiligen Werten für die Indikatoren und zusammengefasst mit Nutzenpunkten sowie die Kosten-Wirksamkeits-Quotienten für die fünf betrachteten Varianten.

			Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Kosten	Investitionskosten	[CHF]	0.0	401.8	1060.6	403.4	414.9
	Betriebskosten	[CHF/a]	35.8	33.2	37.8	39.9	35.7
	Gesamtannuitäten	[CHF/a]	35.8	53.7	91.9	60.5	56.9
Wirksamkeit	Flexibilität						
	Nutzenpunkte Flexibilität	[-]		10	6	6	8
	Erschliessungswirkung neues System						
	Netzlänge	[km]	0.000	11.480	30.304	26.896	27.661
	Zuverlässigkeit						
	Anteil Eigentrasseierung	[%]	13%	31%	68%	61%	64%
	Verbindungen						
	Punktzahl Verbindungsmatrix	[-]	319	321	330	333	330
	Erschliessung Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete						
	Erschlossene Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadt bahn)	[-]	0	6	8	9	10
Kosten-Wirksamkeits-Quotient	Takt						
	Durchschnittlicher nachfragegewichteter überlagerter Takt über alle Abschnitte, ganzer Werktag	[min]	6.30	9.72	9.08	6.51	7.66
	Produktivität Rollmaterial						
	Einsatzstunden pro Fahrzeug und Jahr	[h]	4324	4912	4304	4095	4390
	Nutzenpunkte (lineare Nutzwertanalyse, gleichmässige Gewichtung)		3.93	4.87	6.89	7.92	7.92
	bezogen auf Investitionskosten		0.00	82.58	153.86	50.94	52.38
	Rang		1	4	5	2	3
	bezogen auf Betriebskosten		9.11	6.82	5.49	5.04	4.51
	Rang		5	4	3	2	1
	bezogen auf Gesamtannuitäten		9.11	11.03	13.34	7.64	7.18
	Rang		3	4	5	2	1

Abbildung 78: Übersicht über Kosten, Wirksamkeit und Kosten-Wirksamkeits-Quotienten

Kosten

Die Tramvariante T2(6) mit einer Anbindung Ägeris und einem entsprechend grossen Tramnetz (30.3 km) weist Investitionskosten von über einer Milliarde CHF auf. Die zweite Tramvariante T1(2) mit einem sehr kleinen Netz (11.5 km) hat ähnliche Investitionskosten wie die beiden BRT-Varianten, die allerdings ein mehr als doppelt so grosses Netz (26.9 respektive 27.7 km) aufweisen. Die Variante Busplus beinhaltet keine Investitionen.

Bei den Betriebskosten liegen alle Varianten relativ nahe beieinander (33.2 – 39.9 Mio. CHF / Jahr). Am günstigsten im Betrieb ist die Tramvariante mit einem sehr kleinen Netz T2(6), am teuersten die BRT-Variante mit 2 Linien, BRT2(3).

Werden die Gesamtannuitäten betrachtet, also die jährlichen Zahlungsflüsse aufgrund der Investitions- und Betriebskosten, weist die Variante Busplus aufgrund der fehlenden Investitionen die kleinsten Zahlungsflüsse auf. Von den übrigen Varianten haben die Tramvariante T1(2) die kleinsten, die Tramvariante T2(6) die grössten Zahlungsflüsse.

Wirksamkeit

Die beiden BRT-Varianten erzielen mit Abstand die höchste Wirksamkeit. Auch die Tramvariante T2(6) erzielt noch eine relativ hohe Wirksamkeit, während die Tramvariante T1(2) und die Busplus-Variante eine sehr geringe Wirksamkeit aufweisen.

Kosten-Wirksamkeit

Der Quotient aus Kosten und Wirksamkeit erlaubt, die Variante mit dem besten Verhältnis der beiden Größen zu ermitteln. Dabei ist eine Variante umso besser, je kleiner der Quotient.

Bezogen auf die Investitionskosten hat die Variante Busplus einen Kosten-Wirksamkeits-Quotienten von 0, da sie keine Investitionen beinhaltet – entsprechend belegt sie bei Be- trachtung dieser Kostenkategorie den ersten Rang. Die zweit- und drittbesten Varianten BRT2(3) und BRT3(1) liegen sehr nahe beieinander und erzielen einen massiv besseren Kosten-Wirksamkeits-Quotienten als die beiden Tramvarianten.

Bezogen auf die Betriebskosten erzielt die Variante BRT3(1) klar den besten Kosten- Wirksamkeits-Quotienten. Die zweitbeste Variante BRT 2(3) erreicht immer noch einen mit Abstand besseren Quotienten als die beiden Tramvarianten. Die Variante Busplus schneidet hier sehr schlecht ab.

Bemerkenswert ist, dass die beiden BRT-Varianten auch bezogen auf die Gesamtannuitäten einen besseren Quotienten als die Busplus-Variante erreichen, trotz der mitberücksichtigten Annuitäten für Investitionskosten, welche bei der Busplus-Variante 0 betragen. Die beiden Tramvarianten schneiden wiederum sehr schlecht ab.

Die Kosten und Wirksamkeit werden in Abbildung 79 (bezogen auf Investitionskosten), Abbildung 80 (bezogen auf jährliche Betriebskosten) und Abbildung 81 (bezogen auf Gesamt- annuitäten) grafisch dargestellt.

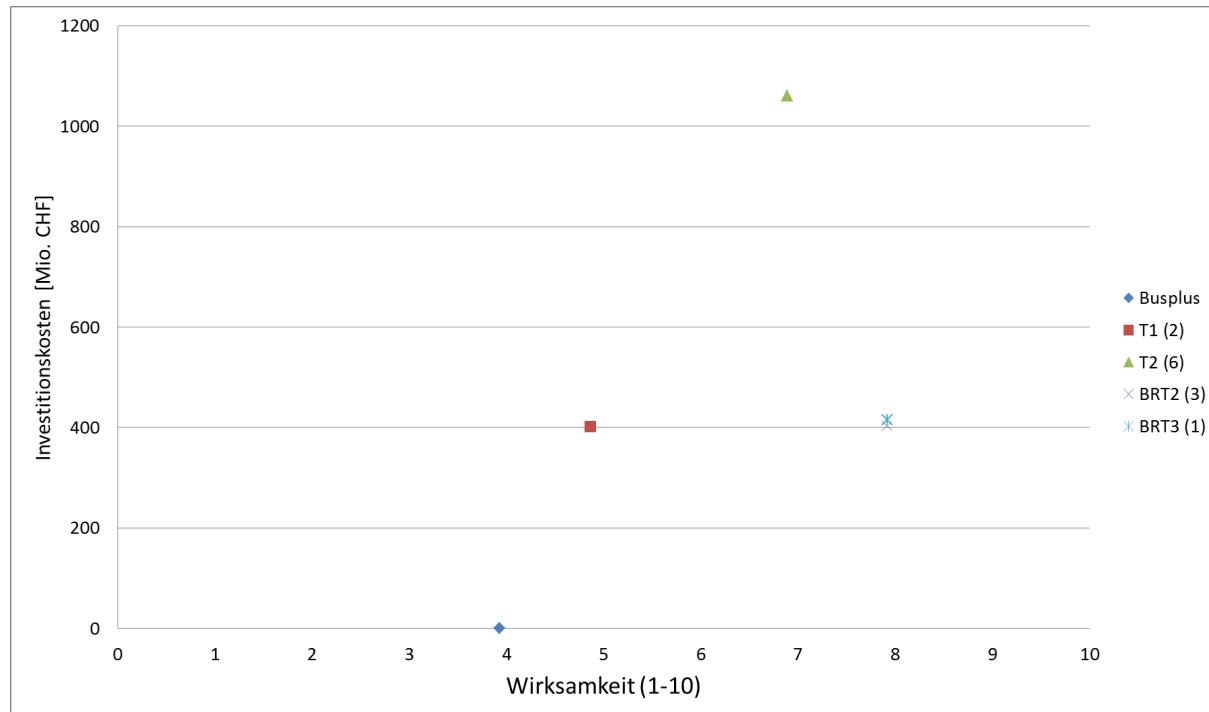


Abbildung 79: Kosten und Wirksamkeit bezogen auf Investitionskosten

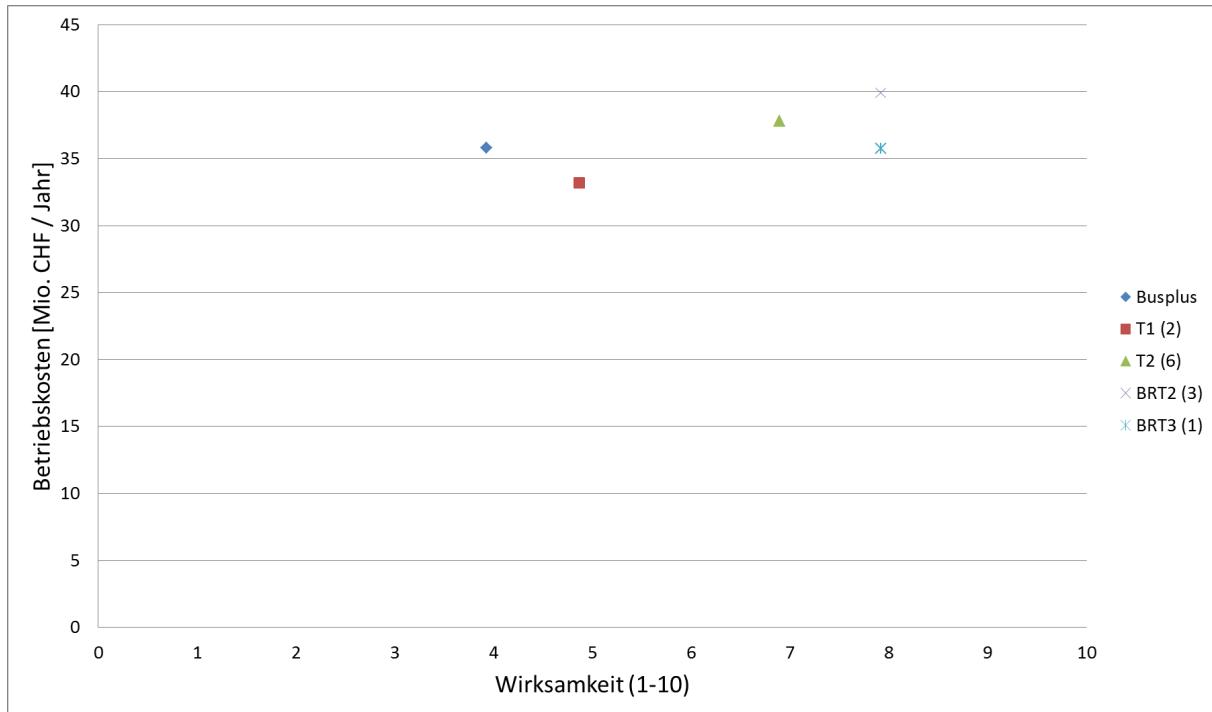


Abbildung 80: Kosten und Wirksamkeit bezogen auf jährliche Betriebskosten

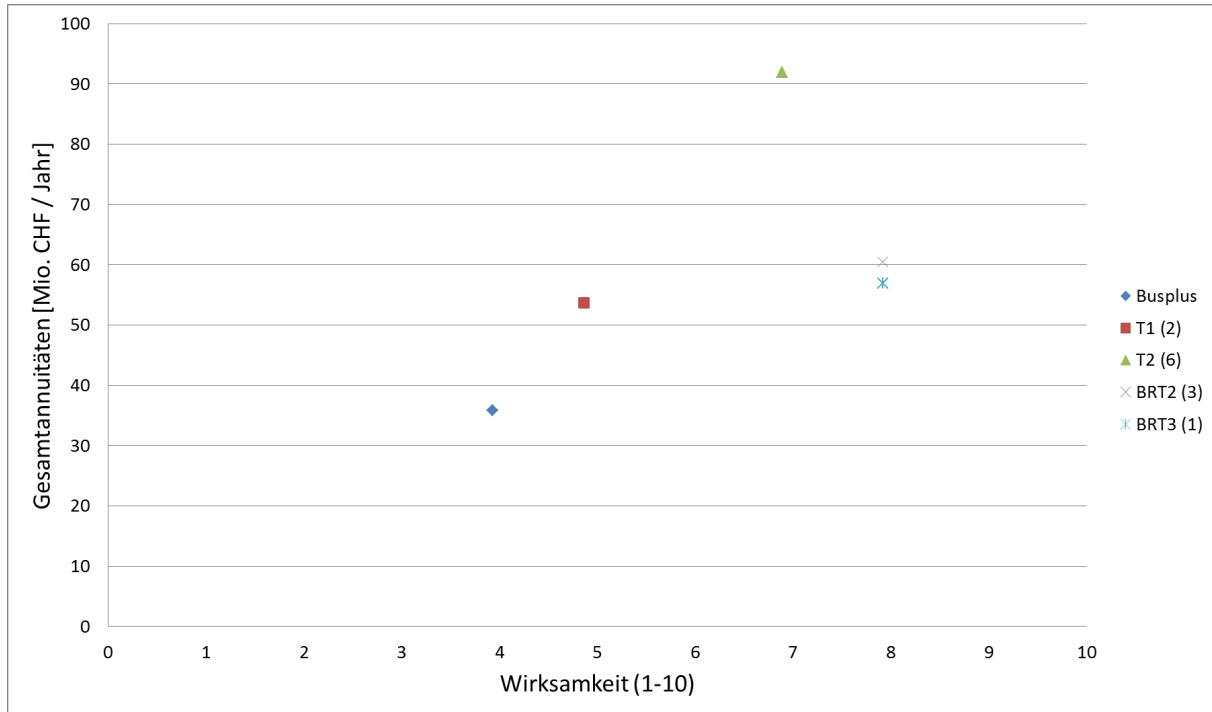


Abbildung 81: Kosten und Wirksamkeit bezogen auf Gesamtannuitäten

Interpretation der Ergebnisse

Die beiden Tramvarianten schneiden bei der Kosten-Wirksamkeit bezogen auf alle Kostenarten am schlechtesten ab. Dies ist einleuchtend, liegen die Kosten doch in einem ähnlichen Bereich wie bei den beiden BRT-Varianten (respektive sehr viel höher bei den Investitionskosten der Variante T2(6)), während die Wirksamkeit wesentlich niedriger ist.

Die Tramvarianten erbringen folglich wesentlich weniger Nutzen pro Franken als die BRT-Varianten, und zwar bezogen auf alle Kostenarten.

Dabei gilt es zwischen den beiden Tramvarianten zu differenzieren: Die Variante T2(6) weist zwar eine akzeptable Wirksamkeit auf, die sehr hohen Investitionskosten und die relativ hohen Betriebskosten führen allerdings zu einem schlechten Kosten-Wirksamkeits-Quotienten bei allen Kostenarten. Die Variante T1(2) hingegen weist Investitionskosten in der Größenordnung der BRT-Varianten und die niedrigsten Betriebskosten auf, hat aber auch eine sehr schlechte Wirksamkeit, weshalb sie ebenfalls sehr schlechte Kosten-Wirksamkeits-Quotienten bei allen Kostenarten aufweist.

9.3.5 Sensitivitätsanalyse Kosten-Wirksamkeit

Die Resultate wurden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Dabei wurden wie in Kapitel 8.4 Szenarien gebildet, bei denen jeweils ein Kriterium mit 30% und die übrigen gleichmässig weniger stark gewichtet wurden. Die Analyse wurde für die Wirksamkeit (Nutzenpunkte) sowie für die Kosten-Wirksamkeits-Quotienten bezogen auf die Investitionskosten, die jährlichen Betriebskosten und die Gesamtannuitäten durchgeführt (siehe Abbildung 82 bis Abbildung 85). Es zeigte sich, dass die Resultate sehr robust reagierten.

Szenario / Variante	Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Alle gleich gewichtet	3.93	4.87	6.89	7.92	7.92
Flexibilität	5.04	5.07	6.73	7.93	7.94
Erschliessungswirkung neues System	3.39	4.78	7.46	8.12	8.16
Zuverlässigkeit	3.39	4.70	7.46	8.10	8.21
Verbindungen	3.39	4.39	7.11	8.30	7.95
Erschliessung Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete	3.39	5.15	7.13	8.14	8.30
Takt	5.04	4.16	6.12	8.20	7.65
Produktivität Rollmaterial	3.86	5.81	6.24	6.65	7.25

Abbildung 82: Sensitivitätsanalyse Wirksamkeit (Nutzenpunkte); grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario; röthlich hinterlegt: zweitbester Wert pro Szenario

Szenario / Variante	Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Alle gleich gewichtet	0.00	82.58	153.86	50.94	52.38
Flexibilität	0.00	79.20	157.60	50.85	52.28
Erschliessungswirkung neues System	0.00	84.02	142.12	49.71	50.86
Zuverlässigkeit	0.00	85.49	142.12	49.82	50.57
Verbindungen	0.00	91.47	149.19	48.60	52.20
Erschliessung Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete	0.00	78.07	148.69	49.59	49.97
Takt	0.00	96.66	173.28	49.19	54.23
Produktivität Rollmaterial	0.00	69.19	170.09	60.66	57.24

Abbildung 83: Sensitivitätsanalyse Kosten-Wirksamkeitsquotient bezogen auf Investitionskosten; grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario; röthlich hinterlegt: zweitbester Wert pro Szenario

Szenario / Variante	Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Alle gleich gewichtet	9.11	6.82	5.49	5.04	4.51
Flexibilität	7.10	6.54	5.62	5.03	4.50
Erschliessungswirkung neues System	10.55	6.94	5.07	4.92	4.38
Zuverlässigkeit	10.55	7.06	5.07	4.93	4.36
Verbindungen	10.55	7.55	5.32	4.81	4.50
Erschliessung Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete	10.55	6.45	5.30	4.91	4.30
Takt	7.10	7.98	6.18	4.87	4.67
Produktivität Rollmaterial	9.29	5.71	6.07	6.00	4.93

Abbildung 84: Sensitivitätsanalyse Kosten-Wirksamkeitsquotient bezogen auf jährliche Betriebskosten; grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario; röthlich hinterlegt: zweitbester Wert pro Szenario

Tramstudie Zug: Braucht Zug ein Tram?

Szenario / Variante	Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Alle gleich gewichtet	9.11	11.03	13.34	7.64	7.18
Flexibilität	7.10	10.58	13.66	7.63	7.17
Erschliessungswirkung neues System	10.55	11.23	12.32	7.46	6.97
Zuverlässigkeit	10.55	11.42	12.32	7.47	6.94
Verbindungen	10.55	12.22	12.93	7.29	7.16
Erschliessung Entwicklungs- und Schwerpunktgebiete	10.55	10.43	12.89	7.44	6.85
Takt	7.10	12.91	15.02	7.38	7.44
Produktivität Rollmaterial	9.29	9.25	14.74	9.10	7.85

Abbildung 85: Sensitivitätsanalyse Kosten-Wirksamkeitsquotient bezogen auf Gesamtannuitäten; grün hinterlegt: bester Wert pro Szenario; röthlich hinterlegt: zweitbester Wert pro Szenario

10. Schlussfolgerungen

10.1 Erkenntnisse

Mit der Analyse der Querschnittsnachfrage und der abgeleiteten ersten Netzbetrachtung mit Anwendung auf das Hauptnetz des Feinverteilers gemäss kantonalem Richtplan (siehe Kapitel 4.4.3) konnten diejenigen Teile des Hauptnetzes identifiziert werden, welche aufgrund der Nachfrage überhaupt für ein allfälliges neues Nahverkehrssystem in Frage kommen. Für das daraus abgeleitete Netz wurden anhand von Aufbauprinzipien (siehe Kapitel 4.5.2) systematisch Varianten für BRT- und Tramnetze entworfen (siehe Kapitel 6). Als Referenz wurde zudem das Angebot 2014 auf das betrachtete Netz reduziert (Variante Busplus). Mit der Bewertung 1. Stufe (siehe Kapitel 8) wurden je zwei Tram- und BRT-Varianten sowie die Busplus-Variante für die weitere Analyse ausgewählt.

Die Analyse des Einsatzbereichs verschiedener Gefässtypen und der berücksichtigten Varianten in Abhängigkeit des Nachfragewachstums in Kapitel 9.2 hat gezeigt, dass eine nur auf Nachfrage und Kapazität ausgerichtete Untersuchung keine eindeutige Antwort auf die Frage der Angemessenheit eines Tramsystems geben kann. Bei einer Nachfragesteigerung von 100% ist ein Tramsystem keineswegs zwingend, ja selbst die auf dem Angebot 2014 basierende Variante Busplus könnte die entsprechende Nachfrage theoretisch bewältigen – wobei fraglich ist, ob die hohen Frequenzen bei Linienüberlagerungen machbar sind. Andererseits kommt ein Tramsystem bereits bei einer Nachfragesteigerung von nur 10 - 30% in Frage.

Der Vergleich der berücksichtigten Varianten mittels einer Kosten-Wirksamkeits-Analyse in Kapitel 9.3 lässt hingegen klare Schlüsse zu. Die BRT-Varianten weisen eine wesentlich grössere Wirksamkeit auf als die Tramvarianten und die Variante Busplus. Auch bei der Betrachtung des Verhältnisses zwischen Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtannuitäten und der Wirksamkeit schneiden die BRT-Varianten deutlich besser ab als die beiden Tramvarianten.

Bei genauerer Betrachtung wird ersichtlich, dass die Tramvariante T1(2) Kosten in der Grösstenordnung der BRT-Varianten, dafür aber eine wesentlich tiefere Wirksamkeit aufweist (insb. ein für nahezu identische Investitionskosten wesentlich kleineres Kernnetz), während die andere Tramvariante T2(6) zwar eine akzeptable Wirksamkeit hat (allerdings immer noch tiefer als beide BRT-Varianten), dafür aber Investitionskosten von über einer Milliarde CHF aufweist.

Zusammenfassend ist ein Tramsystem für Zug nicht angemessen, da es einerseits aus Kapazitätsgründen nicht notwendig ist und andererseits mit einem weiterentwickelten, eigentrasierten Bussystem eine wesentlich grössere Wirkung pro eingesetztem Franken erzielt wird, und zwar in Bezug auf alle betrachteten Kostenarten (Investitionskosten, Betriebskosten und Gesamtannuitäten).

10.2 Empfehlungen

- Für den Zeithorizont der nächsten zwanzig Jahre sollte die Weiterentwicklung des Bussystems mit einer möglichst kompletten Eigentrassierung angestrebt werden, da das heutige Busnetz (Variante Busplus) bei einem starken Nachfragewachstum von 100% zwar nicht an die absolute Leistungsfähigkeitsgrenze stossen wird, die notwendigen hohen Frequenzen auf mehreren sich teilweise überlagernden Linien aber zu massiven Problemen führen könnten. Die genaue Ausprägung eines solchen weiterentwickelten Bussystems wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht, da es lediglich um einen Vergleich zwischen den – die Hauptfrage betreffenden – Tramvarianten und einer leistungsfähigen Alternative mit Bussen ging. Folglich sollte unter anderem vertieft untersucht werden,
 - wie ein solches System für Zug genau aussehen könnte,
 - welche Lösungen (Eigentrassierung, elektronische Bevorzugung usw.) an welcher Stelle möglich und angemessen sind,
 - welche Korridore genau berücksichtigt werden sollten,
 - ob ein Mischsystem konventioneller Bus – BRT oder ein eigenständiges, komplett neues System gewählt werden sollte,
 - wie hoch die Kosten tatsächlich wären (hier nur Pauschalwerte verwendet),
 - ob ein solches System elektrifiziert werden sollte und
 - wie die Attraktivität eines solchen Systems auch emotional das Niveau eines Tramsystems erreichen könnte.
- Ein Tramsystem ist für Zug nicht angemessen. Deshalb sollten keine Korridore mehr für ein Tramnetz freigehalten werden.
- Hingegen sollten die in Abbildung 86 gezeigten Korridore für ein weiterentwickeltes, eigentrassiertes Bussystem freigehalten werden. Die roten, freizuhaltenden Korridore basieren auf der Variante mit dem besten Kosten-Wirksamkeits-Quotienten, BRT3(1). Zudem ist es ratsam, die blauen Korridore zumindest bis zum Abschluss vertiefender Untersuchungen ebenfalls freizuhalten:
 - Das Ägerital bildet einen separaten Ast des Busnetzes und könnte bei Bedarf ebenfalls in ein weiterentwickeltes Busnetz miteinbezogen werden. Eine vollständige Ausgestaltung der Strecke nach Oberägeri mit dem Standard eines BRT-Netzes (ganzheitlich eigentrassiert) wäre allerdings mit sehr hohen Kosten verbunden. Zudem dürften punktuelle Massnahmen an kritischen Stellen auf dieser Strecke genügen. Allerdings sind detaillierte Studien notwendig, um diese Aussagen zu verifizieren.
 - Die Achse Steinhausen-Baar könnte ebenfalls bei Bedarf integriert werden. Die Nachfrage ist heute vergleichsweise gering. Allerdings hat sich bei der Variantenbildung gezeigt, dass Netze mit mehreren Linien dank dem Einbezug dieser Strecke möglicherweise sinnvoller ausgestaltet werden können.
 - Die Achse Zug – Brüggli entlang des Zugersees wurde nicht detailliert betrachtet. Sie könnte sich aber bei der definitiven Netzbildung eines BRT-Systems als wichtig erweisen, weshalb die Freihaltung empfehlenswert ist.

- Die weiteren Korridore des heutigen Hauptnetzes gemäss Richtplan (türkisfarben in Abbildung 86) müssen nicht weiter freigehalten werden. Es wird davon ausgegangen, dass hier punktuelle Verbesserungen ausreichend sind, wie beispielsweise Knotenzufahrten für Busse. Für eine vollständige Integration in ein BRT-Netz dürfte die Auslastung auch mit einer markanten Nachfragesteigerung zu gering sein. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass diese Netzteile entsprechend dem Auftrag nicht detailliert betrachtet wurden.

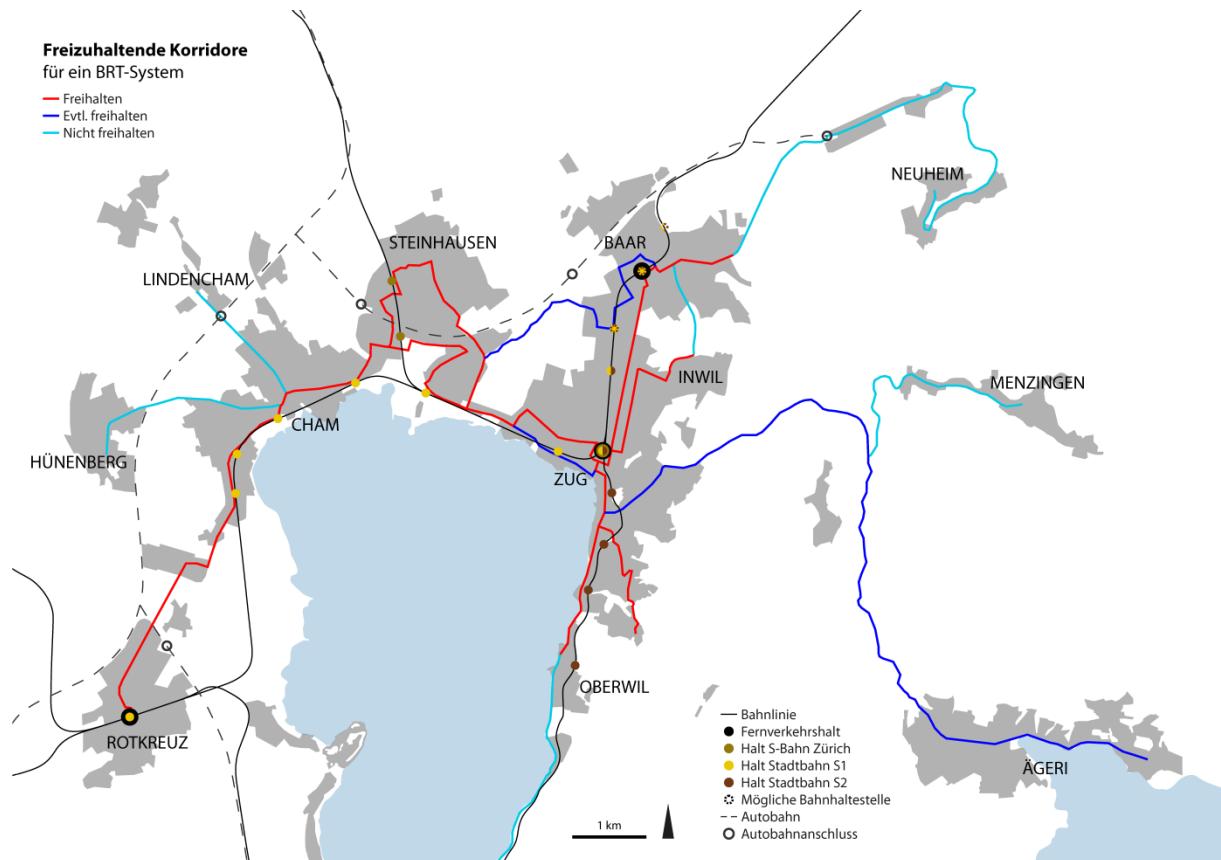


Abbildung 86: Freizuhaltende Korridore für ein BRT-System

10.3 Anmerkungen

Im Rahmen dieser Studie konnten folgende Aspekte nicht berücksichtigt werden:

- Als Grundlage für die Ermittlung der Bestvarianten je System (BRT / Tram) in der 1. Bewertungsstufe und die Kosten-Wirksamkeits-Analyse in der 2. Bewertungsstufe wurde die vom Auftraggeber vorgegebene Annahme einer 100-prozentigen Nachfragesteigerung als Grundlage verwendet. Es ist denkbar, dass bei der Annahme eines geringeren oder stärkeren Nachfragewachstum andere Varianten als Bestvarianten innerhalb des jeweiligen Systems (1. Bewertungsstufe) ermittelt worden wären. Allerdings ist es aufgrund der Robustheit der Ergebnisse der 2. Bewertungsstufe, der Verwendung von 2 Bestvarianten pro System, des breiten grundsätzlichen Einsatzbereichs aller Varianten und der Plausibilisierung der Ergebnisse mit verallgemeinerten Betrachtungen (Kapazität der Systeme) unwahrscheinlich, dass dies zu grundsätzlich abweichenden Ergebnissen und Schlussfolgerungen der 2. Bewertungsstufe geführt hätte.
- Bei der Bewertung 2. Stufe wurde zwar die Produktivität des Rollmaterials über die Einsatzstunden pro Jahr sowie die generell höheren Betriebskosten für grössere Fahrzeuge berücksichtigt. Was aber nicht berücksichtigt wurde, ist die Auslastung der einzelnen Fahrzeuge während NVZ und RVZ. Da hier im Mittel ein schlechteres Resultat für grössere Gefässerwartet werden darf, würde sich der Einbezug dieses Aspekts negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Tramvarianten auswirken, die Tendenz des Ergebnisses also eher stützen als widerlegen.
- Die Unterhaltskosten für die Fahrzeuge sowie zusätzliche Betriebskosten (z.B. für Nebenanlagen, Abstellen der Fahrzeuge usw.) wurden in den Betriebskostenpauschalen (CHF/Fzkm) berücksichtigt. Dies reflektiert zwar, dass die Unterhaltskosten stark von der Laufleistung abhängen, verfälscht aber das Ergebnis für zusätzliche Betriebskosten bei einer überdurchschnittlich grossen Fahrzeugreserve. Diesem Aspekt wurde bei der Bewertung 2. Stufe mittels eines Zuschlags für übermässige Reserven Rechnung getragen. Dieses Verfahren ist allerdings grob.
- Die Investitionskosten für Fahrzeuge wurden nicht berücksichtigt. Dies lässt sich dadurch rechtfertigen, dass wohl bei allen Varianten ähnliche Annuitäten resultieren würden, da teure Tramfahrzeuge eine höhere Lebensdauer und ein grösseres Fassungsvermögen als billigere Busse aufweisen. Für eine genaue Berechnung wäre die Ausarbeitung einer Flottenstrategie unter Berücksichtigung des heute vorhandenen Rollmaterials notwendig; da kaum ein Mehrwert für die Studie resultieren würde, erscheint dies als nicht angemessen.
- Die 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.

11. Quellen

- [AÖV 2011] AÖV (2011) Buslinien und Haltestellen, Angebot 2014, Amt für öffentlichen Verkehr, Zug (unveröffentlicht – vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).
- [EBP 2012a] EBP (2012a) Kantonales Verkehrsmodell Zug, Quell-Ziel-Matze für die Morgenspitze 2010, Ernst Basler + Partner AG, Zürich (unveröffentlicht – vom Verfasser zur Verfügung gestellt).
- [EBP 2012b] EBP (2012b) Kantonales Verkehrsmodell Zug, Übersichtsplan Zoneneinteilung, Ernst Basler + Partner AG, Zürich (unveröffentlicht – vom Verfasser zur Verfügung gestellt).
- [Gächter 2012] Gächter, F. (2012) Frequenzverteilung auf Linie 6, Zugerland Verkehrsbetriebe AG, Zug (unveröffentlicht – vom Verfasser zur Verfügung gestellt).
- [Kanton Zug 2011] Kanton Zug (2011) Kantonaler Richtplan, Richtplankarte, Nachgeführt, Stand 7. Juli 2011, Baudirektion, Amt für Raumplanung, Zug.
- [Kanton Zug 2012a] Kanton Zug (2012a) Agglomerationsprogramm Zug 2. Generation, Bericht, Baudirektion, Amt für Raumplanung, Zug.
- [Kanton Zug 2012b] Kanton Zug (2012b) Agglomerationsprogramm Zug 2. Generation, Anhang, Baudirektion, Amt für Raumplanung, Zug.
- [Kanton Zug 2012c] Kanton Zug (2012c) Leitbild Lorzenebene, Schlussbericht, Baudirektion, Amt für Raumplanung, Zug.
- [Kanton Zug 2012d] Kanton Zug (2012d) Raumplanerischer Bericht, Anpassung kantonaler Richtplan, Baudirektion, Amt für Raumplanung, Zug.
- [Kanton Zug 2012e] Kanton Zug (2012e) Begleitgremium Stadttunnel Zug, 10. Sitzung, Präsentation, Kanton Zug, Zug (unveröffentlicht – vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).
- [Müller 2012] Müller, D. (2012) Übersicht Busspuren (Eigentrassierung) und -bevorzugungen, Amt für öffentlichen Verkehr, Zug (unveröffentlicht – vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).
- [SBB 2012] SBB (2012) Online-Fahrplan, Schweizerische Bundesbahnen SBB, Personenverkehr, Bern, <http://fahrplan.sbb.ch/bin/query.exe/dn>, November 2012.
- [Stadt Zürich 2001] Stadt Zürich (2001) Auszug aus dem Protokoll des Stadtrates von Zürich vom 3. Oktober 2001, GR Nr. 2001/316, Stadt Zürich, Zürich.
- [Weidmann 2011a] Weidmann, U.A (2011a) System- und Netzplanung, Band 1.1, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, Zürich.

- [Weidmann 2011b] Weidmann, U.A (2011b) Systemdimensionierung und Kapazität, Band 2.1, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, Zürich.
- [ZVB 2011] ZVB (2011) Liniennetzplan 2012, Zugerland Verkehrsbetriebe AG, Zug.
- [ZVB 2012] ZVB (2012) ZVB Linienbelastung 2011, auf Basis Struktur 2010 / Querschnittszählung 2011, Mittlerer Werktagsverkehr, Zugerland Verkehrsbetriebe AG, Zug (unveröffentlicht – vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt).

Anhang

Vertiefte Untersuchung der Relation Steinhausen – Baar:

- Zusammengefasste Quell-Ziel-Daten Kanton Zug (MIV Morgenspitzenstunde 2010)
- Berechnung

Konstanten und Kostensätze

Netzabschnitte und Eigenschaften

Beispiel Erfassungsblatt für Varianten

Bewertung 1. Stufe:

- Mengengerüst
- Nutzwertanalyse Tramvarianten
- Nutzwertanalyse BRT-Varianten

Bewertung 2. Stufe:

- Verwendete Tagesganglinie
- Berechnung Betriebskostenzuschlag für grosse Reserve
- Mengengerüst
- Bewertungsübersicht

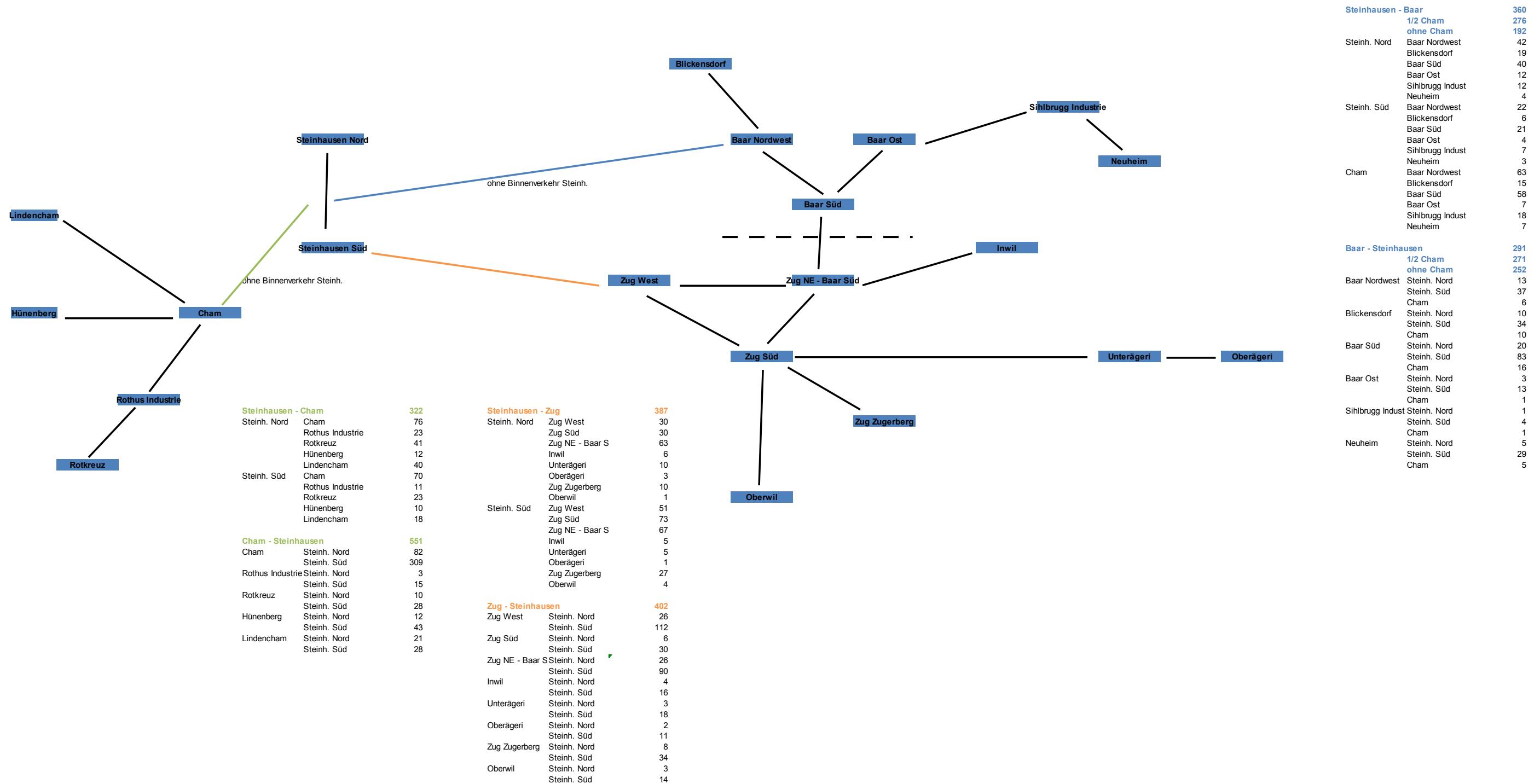
Die entsprechenden Excel-Dateien sind auf der beigelegten CD enthalten.

Vertiefte Untersuchung der Relation Steinhausen – Baar: Zusammengefasste Quell-Ziel-Daten Kanton Zug (MIV Morgenspitzenstunde 2010)

Quelle: Kantonales Verkehrsmodell, EBP

Quelle / Ziel		Rotkreuz	Cham	Steinhausen Süd	Steinhausen Nord	Zug West	Zug Süd	Zug Zugerberg	Zug Nordost - Baar	Baar Süd	Baar Nordwest	Baar Ost	Unterägeri	Oberägeri	Rothus-Langrütli Industrie	Hünenberg	Lindenham - Hagendorf	Blickensdorf	Sihlbrugg Industrie	Neuheim	Inwil	Allenwinden	Menzingen	Oberwil	Extern	
	Summe	1437	1652	1825	717	1229	1220	578	2552	1486	832	548	876	363	482	472	610	270	518	290	370	127	514	97	30693	
Rotkreuz		871	277	81	28	10	9	6	1	34	14	19	1	3	0	42	13	24	5	7	3	3	0	1	0	287
Cham		2318	155	469	309	82	80	94	30	148	58	63	7	19	3	52	52	96	15	18	7	8	7	4	6	535
Steinhausen Süd		1000	23	70	208	77	51	73	27	67	21	22	4	5	1	11	10	18	6	7	3	5	4	7	4	276
Steinhausen Nord		1147	41	76	234	171	30	30	10	63	40	42	12	10	3	23	12	40	19	12	4	6	3	7	1	257
Zug West		807	5	29	112	26	203	91	14	191	20	7	2	1	1	5	5	5	1	1	0	5	0	5	1	75
Zug Süd		790	2	7	30	6	100	144	61	196	72	2	12	9	4	1	0	1	0	0	0	24	3	37	7	72
Zug Zugerberg		746	2	9	34	8	71	110	110	170	53	3	18	13	5	3	1	2	0	1	24	19	5	43	5	38
Zug Nordost - Baar		1325	11	25	90	26	136	158	26	335	109	24	23	3	1	7	7	4	19	13	1	70	1	2	2	228
Baar Süd		1214	20	16	83	20	51	57	30	146	166	94	73	30	11	10	2	4	31	22	10	45	14	28	1	248
Baar Nordwest		684	9	6	37	13	14	15	4	72	107	109	31	11	3	4	2	1	36	16	5	13	6	9	0	161
Baar Ost		397	4	1	13	3	12	4	3	14	80	22	59	15	4	2	1	1	7	24	11	6	6	15	0	87
Unterägeri		932	2	7	18	3	25	18	22	54	62	9	26	367	102	3	2	2	4	16	7	11	15	11	1	146
Oberägeri		615	4	4	11	2	14	9	12	31	42	4	16	198	127	1	0	1	3	9	4	6	6	7	1	103
Rothus-Langrütli Industrie		226	21	32	15	3	7	3	1	12	3	5	1	2	0	20	5	5	1	2	1	1	1	0	85	
Hünenberg		646	42	36	43	12	18	20	6	39	17	16	3	4	0	23	72	28	3	8	4	2	1	1	2	245
Lindenham - Hagendorf		635	34	174	28	21	12	8	3	25	13	11	1	4	2	20	68	90	4	6	2	3	1	1	1	103
Blickensdorf		490	10	10	34	10	8	2	1	14	59	95	17	10	2	6	2	3	27	18	3	8	3	5	0	143
Sihlbrugg Industrie		91	1	1	4	1	1	0	0	3	10	3	11	0	1	1	0	1	10	3	2	0	2	0	35	
Neuheim		399	10	5	29	5	3	4	11	6	15	10	12	6	2	5	1	1	2	54	62	2	3	23	0	127
Inwil		483	4	6	16	4	29	30	21	102	83	16	13	3	1	2	5	1	9	7	3	34	1	4	1	90
Allenwinden		275	2	3	9	3	19	10	12	27	49	12	19	15	3	1	1	1	10	2	4	6	15	6	0	47
Menzingen		608	2	1	10	3	34	34	32	83	27	8	13	10	2	1	0	0	3	23	20	4	4	1	1	122
Oberwil		252	2	4	14	3	11	44	20	28	19	1	3	5	1	1	1	0	0	9	3	1	14	28	40	
Extern		32807	754	581	416	205	292	255	120	693	346	233	172	134	84	237	208	282	62	241	96	85	25	105	36	27144

Vertiefte Untersuchung der Relation Steinhausen – Baar: Berechnung



Konstanten und Kostensätze

Betriebskosten	
Einheitskostensatz Fahrzeugkilometer Standardbus	[CHF / Fzkm] 7
Einheitskostensatz Fahrzeugkilometer Gelenkbus	[CHF / Fzkm] 8
Einheitskosten Fahrzeugkilometer Anhängerzug	[CHF / Fzkm] 8.5
Einheitskostensatz Fahrzeugkilometer Doppelgelenktrolleybus	[CHF / Fzkm] 9
Einheitskostensatz Fahrzeugkilometer Tram	[CHF / Fzkm] 13.5

Investitionskosten Infrastruktur	[CHF / km]
Einheitskostensatz Infrastruktur Tram	35000000
Einheitskostensatz Infrastruktur BRT	15000000

Geschwindigkeitszuschlag für komplett eigentrasseerte Systeme (im Vergleich zu heutigen Beförderungszeiten)
Zuschlag für neue Systeme (vollständige Eigentrasseierung) [%]  10%

Generische Geschwindigkeit (für neue Abschnitte)	[km / h]
Bus (Durchschnitt HEUTE distanzgewichtet ohne Ägeri)	22.4
BRT (mit Zuschlag)	24.64
Tram (mit Zuschlag)	24.64

Minimale Wendezzeit [min] **3**

Fassungsvermögen	
Standardbus	53 [Personen]
Gelenkbus	97 [Personen]
Anhängerzug	109 [Personen]
Doppelgelenkbus	129 [Personen]
Tram	220 [Personen]

1	0.15	0.25	1.5
[]	[]	[]	[]
Nachfrage Spitzenszustunde			
f_werktag	f_stunde	f_streuung	f_spitze

Verteilung der Nachfrage auf mehrere Linien	[-]
Gewicht Kernlinien	[-]
Gewicht Ergänzungslinien	[-]
Platz	[-]

Punktevergabe Verbindungen	4
Direkt ("D")	4
Vorwärtsanschluss (1X Umsteigen) ("V1")	3
Vorwärtsanschluss (>1 X Umsteigen) ("V2")	2
Punktevergabe Verbindungen	2

Rückwärtsanschluss ($> 1 \times$ Umsteigen) (·R ²)	[-]
Reservefahrzeuge	[Fz]

Zuschlag Betriebskosten für stehende Reservefahrzeuge (Anteil > 15% Reserve) [CHF / Fz] **387605**

Unterhaltskosten Infrastruktur pro Jahr	[CHF / km]
Einheitskostensatz Unterhalt Infrastruktur Tram	75000
Einheitskostensatz Unterhalt Infrastruktur S-Bahn	50000

Tag im Jahr	
Anzahl Werkstage + Samstage pro Jahr	313
Anzahl Sonntage pro Jahr	52

Tagessanglinie Werktag / Samstag	
Anzahl HVZ-Stunden pro Werktag / Samstag	[h]
Anzahl NVZ-Stunden pro Werktag / Samstag	[h]

Tagessanglinie Sonntag	[h]
Anzahl HVZ-Stunden pro Sonntag	[h]
Anzahl NVZ-Stunden pro Sonntag	[h]
Anzahl RVZ-Stunden pro Sonntag	[h]

Jahresstunden	
Anzahl HVZ-Stunden pro Jahr	2191
Anzahl NVZ-Stunden pro Jahr	3545
Anzahl RVZ-Stunden pro Jahr	1199

Annuitätdendarlehen	Laufzeit (=Lebensdauer Infrastruktur)	[a]
	Zinssatz	[%]

Netzabschnitte und Eigenschaften

Abschnitt	Länge (1 Rtg)	Verwendete Haltestellen zur Fahrzeitermittlung basierend auf Fahrplan	Fahrzeit	Fahrzeit	Fahrzeit	Geschw.	Für Nachfrage verwendeter, massgebender Querschnitt	Nachfrage DWTV 2011, massgebender Querschnitt, beide Richtungen	Steigerungs- faktor Nachfrage	Länge heutige Eigentras- sierung (nur 1 Richtung = X 0.5)	Länge geplante Eigentras- sierung (nur 1 Richtung = X 0.5)	Länge künftige Eigentras- sierung (bestehend + geplant) (nur 1 Richtung = X 0.5)
			heute HVZ (7:00-8:00), Richtung A	heute HVZ (7:00-8:00), Richtung B	heute HVZ (7:00-8:00), Mittel beider Rtg	(informativ)						
[m]	[min]	[min]	[min]	[km / h]				[Pers. / Tag]	[-]	[m]	[m]	[m]
1	5059	Schöng rund - Rothus (ohne Bösch) - Cham, Bhf	11.00		11.00	27.6	Bus 8 (Cham Bhf - Neuhof: 2211)	2211	1.3	32.5	1067.5	1100
2	2190	Cham, Bhf - 1/2 (Chamerried; Riedstrasse)	7.50	7.50	7.50	17.5	Bus 4 (Eich - Alpenblick: 2781) + Bus 6 (Städtli - Eich: 514) + Bus 8 (Städtli - Eich: 2656)	5951	1.3	32.5	0	32.5
3	3092	1/2 (Chamerried; Riedstrasse) - Ammannsmatt	8.50	9.25	8.88	20.9	Bus 6 (Eichholz - Ammannsmatt: 5141) + Bus 8 (Zugerland - Riedstrasse: 2481)	7622	1.3	0	665	665
4	1132				3.03	22.4	Bus 4 (Lorzen - Rankhof: 3003)	3003	1.3	0	355.5	355.5
5	183				0.49	22.4				0	0	0
6	1391				3.73	22.4	Bus 4 (Lorzen - Rankhof: 3003)	3003	1.3	181.5	716	897.5
7	177				0.47	22.4				0	0	0
8	760	Lorzen - 1/2 (Riedmatt; Ammannsmatt)	2.50	1.50	2.00	22.8	Bus 6 (Rank - Lorzen: 5920)	5920	1.3	0	0	0
9	3929	Baar, Bhf - Ammannsmatt (- (2 X 0.5 Min))	9.00	11.00	10.00	23.6	Bus 8 (Ammannsmatt - Schochermühle: 1947)	1947	1.0	0	378	378
10	1199	Baar, Bhf - Paradies (- 0.5 Min)	2.50	4.50	3.50	20.6	Bus 3(Baar Bhf - Kreuzplatz: 2274) OHNE Bus 31 (Oberdorf Baar - Brauerei: 1529)	2274	1.3	0	378.5	378.5
11	112				0.30	22.4				0	0	0
12	2544	Baar, Bhf - Metalli	8.00	6.00	7.00	21.8	Bus 3 (Metalli - Guthirt: 5096)	5096	1.3	395.5	0	395.5
13	2287	Metalli - Rigistrasse	8.00	8.00	8.00	17.2	Bus 4 (Bleichi - Göbli: 2228) OHNE Bus 33 (Rüschenhof - Arbach: 661)	2228	1.3	0	0	0
14	332				0.89	22.4				0	0	0
15	1730	Letzi - Metalli (NVZ) / Metalli - Brüggli (NVZ)	6.00	5.00	5.50	18.9	Bus 6 (Stadion - Stampfi: 6222) OHNE Bus 11 (Landis + Gyr - Aabachstrasse: 1615)			479	0	479
16	655	Letzi - Lorzen	2.00	1.00	1.50	26.2	Bus 4 (Brüggli - Lorzen: 3060) + Bus 6 (Brüggli - Lorzen: 5919)	8979	1.3	519.5	0	519.5
17	1380	Bundesplatz - Brüggli	4.00		4.00	20.7	Bus 4 (Schutzenengel - Letzi: 3108)			391.5	0	391.5
18	118				0.32	22.4				0	0	0
19	669				1.79	22.4				0	0	0
20	195				0.52	22.4				0	0	0
21	387				1.04	22.4	Bus 3 (Theater Casino - Mänibach: 2496) OHNE Bus 5 (Theater Casino - Mänibach: 923)	2496	0.7	0	0	0
22	1716	Mänibach - Widenstrasse	3.00	4.00	3.50	29.4	Bus 3 (Mänibach - Fridbach: 2085) OHNE Bus 5 (Mänibach - Fridbach: 906)	2085	0.7	0	250	250
23	1916	Theater Casino - Schönegg	6.00	6.00	6.00	19.2	Bus 11 (Theater Casion - St. Michael: 3119)	3119	0.7	0	0	0
24	12099	Kolinplatz - Oberägeri, Station	19.50	20.00	19.75	36.8	Bus 1 (Spinnerei - Zimmel: 4966) OHNE Bus 2 (Moosrank - Tobelbrücke: 2481)	4966	0.7	0	0	0

Bemerkungen:

- Die Fahrzeit wurde für die Abschnitte 4, 5, 6, 7, 11, 14, 18, 19, 20, 21 mit der Durchschnittsgeschwindigkeit der übrigen Abschnitte (ohne Abschnitt 24) berechnet.
- Bei den Abschnitten 5, 7, 11, 14, 15, 17, 18, 19 und 20 wurde keine Nachfrage hinterlegt. Dies, da sie entweder so kurz sind, dass aus den Grundlagendaten kein geeigneter Wert ermittelt werden konnte oder weil die Hinterlegung einer Nachfrage zu Verzerrungen des Resultats führen würde.

Beispiel Erfassungsblatt für Varianten

Bewertung 1. Stufe: Mengengerüst (1/2)

Variante

Tabname	T1 (1)	T1 (2)	T1 (3)	T2 (1)	T2 (2)	T2 (3)	T2 (4)	T2 (5)	T2 (6)	T2 (7)	T2 (8)	T2 (9)	T2 (10)
Variantencode	Tram 1LbWtpkCsä	Tram 1LBWtpkCsä	Tram 1LbWtpkCsÄ	Tram 2LBWtpkCsä	Tram 2LBWtpkCsäV1	Tram 2LBWtpkCsäV2	Tram 2LBWtpkCsäV1	Tram 2BWtpkCsäV1	Tram 2LBWtpkCsäV1	Tram 2LBWtpkCsäV2	Tram 2LBWtpkCsäV1	Tram 2LBWtpkCsäV2	Tram 2LBWtpkCsä
System	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram

Investitionskosten

Netzlänge neues System	[km]	9.973	11.480	21.490	16.836	18.205	18.205	15.372	15.372	30.304	30.304	26.889	26.889	24.948
Einheitkostensatz (abhängig von System)	[CHF / km]	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000	35000000
Investitionskosten Kernnetz	[CHF]	349055000	401800000	752150000	589260000	637175000	637175000	538020000	538020000	1060640000	1060640000	941115000	941115000	873180000

Betriebskosten

Fahrzeugkilometer Standardbus während Spitzentunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fahrzeugkilometer Gelenkbus während Spitzentunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	392.648	298.330	442.008	314.062	307.892	75.188	159.450	159.450	307.892	307.892	165.620	165.620	292.160
Fahrzeugkilometer Anhängerzug während Spitzentunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	293.896	308.284	87.720	206.176	206.176	438.880	308.284	0.000	0.000	0.000	102.108	87.720	0.000
Fahrzeugkilometer DGB während Spitzentunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fahrzeugkilometer Tram während Spitzentunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	119.676	137.760	257.880	230.018	286.756	281.280	239.364	222.430	441.388	441.388	487.456	337.600	308.820
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzentunde	[CHF]	7255	6867	7763	7370	8087	8129	7127	6899	8422	9044	6750	7290	7252

Zuverlässigkeit

Linienlänge Kernnetz (1 Rtg; Annahme: 100 % eigentassiert)	[km]	9.973	11.480	21.490	19.203	20.572	20.572	19.947	19.947	33.458	33.458	31.464	31.464	25.735
Linienlänge Ergänzungsnetz (1 Rtg)	[km]	44.910	41.922	32.024	34.724	34.724	34.724	36.554	36.554	21.838	21.838	23.668	23.668	27.837
Eigentassierung Ergänzungsnetz (1 Rtg; bezogen auf Linienlängen)	[km]	5.364	4.968	5.364	3.925	3.925	3.925	3.163	3.163	3.925	3.925	3.163	3.163	4.590
Anteil Eigentassierung Ergänzungsnetz (auf Gesamt-Linienlänge bezogen)	[%]	11.9%	11.9%	16.7%	11.3%	11.3%	11.3%	8.7%	8.7%	18.0%	18.0%	13.4%	13.4%	16.5%
Gesamlinienlänge (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[km]	54.883	53.402	53.514	53.927	55.296	55.296	56.501	56.501	55.296	55.296	55.132	55.132	53.572
Eigentassierung Total (Kernnetz (100%) + Ergänzungsnetz; bezogen auf Linienlängen)	[km]	15.337	16.448	26.854	23.128	24.497	24.497	23.110	23.110	37.383	37.383	34.627	34.627	30.325
Anteil Eigentassierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	27.9%	30.8%	50.2%	42.9%	44.3%	44.3%	40.9%	40.9%	67.6%	67.6%	62.8%	62.8%	56.6%

Verbindungen

Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsmaatrix	[·]	324	321	328	316	324	328	309	308	330	328	308	308	325
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Abdeckung durch neues System

Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadtbahn): [-]		4	6	4	8	8	8	7	7	8	8	7	7	6
--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Netzgrösse (Reserve), nur bei Tram

Anzahl Einsatzfahrzeuge (Tram) Kernnetz (Spitzentunde)	[-]	6	7	10	12	14	15	12	18	20	14	16	13	
Anzahl Reservefahrzeuge (Tram) Kernnetz (Spitzentunde)	[-]	3	3	3	3	3	3	3	>3	>3	3	3	3	
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark, nur bei Tram	[%]	33.3%	30.0%	23.1%	20.0%	17.6%	16.7%	20.0%	20.0%	15.0%	15.0%	17.6%	15.8%	18.8%

Produktivität des Rollmaterials im Kernnetz

Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	88.7%	86.9%	85.8%	83.9%	88.8%	81.4%	88.0%	81.8%	91.0%	87.2%	89.6%	86.4%	82.0%
--	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Bewertung 1. Stufe: Mengengerüst (2/2)

Mengengerüst

Variante

Tabname	BRT2 (1)	BRT2 (2)	BRT2 (3)	BRT2 (4)	BRT3 (1)	BRT3 (2)	BRT3 (3)	BRT3 (4)	BRT3 (5)	BRT3 (6)	BRT3 (7)	Busplus
Variantencode	BRT2L B W t p k C S ä i r z	BRT2L B W t p k C S ä i r z	BRT2L B W t P k C S ä i r z	BRT2L B W t P k C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	BRT3L B W t P K C S ä i r z	Busplus
System	BRT	Busplus										

Investitionskosten

Netzlänge neues System	[km]	22.851	23.222	26.896	27.267	27.661	30.574	37.844	32.082	40.757	40.385	41.282	0.000
Einheitkostensatz (abhängig von System)	[CHF / km]	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	15000000	0
Investitionskosten Kernnetz	[CHF]	342765000	348330000	403440000	409005000	414915000	458610000	567660000	481230000	611355000	605790000	619230000	0

Betriebskosten

Fahrzeugkilometer Standardbus während Spitzenstunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	52.380
Fahrzeugkilometer Gelenkbus während Spitzenstunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	151.760	144.632	167.492	160.364	0.000	15.732	34.776	31.428	50.508	47.160	125.588	471.366
Fahrzeugkilometer Anhängerzug während Spitzenstunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	293.896	308.284	206.176	206.176	293.896	206.176	87.720	0.000	0.000	0.000	0.000	536.260
Fahrzeugkilometer DGB während Spitzenstunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	528.360	521.664	743.142	734.772	681.600	859.668	917.568	827.784	1163.214	1167.678	1085.048	0.000
Fahrzeugkilometer Tram während Spitzenstunde (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzenstunde	[CHF]	8467	8472	9781	9648	8633	9615	9282	8447	10873	10886	10770	8696

Zuverlässigkeit

Linienlänge Kernnetz (1 Rtg; Annahme: 100 % eigentrailliert)	[km]	23.833	23.554	30.245	29.966	33.550	37.772	43.206	39.558	47.760	48.039	45.750	0.000
Linienlänge Ergänzungsnetz (1 Rtg)	[km]	29.681	31.159	23.682	23.961	20.196	14.197	10.208	9.929	4.209	3.930	8.177	55.704
Eigentraillierte Ergänzungsnetz (1 Rtg; bezogen auf Linienlängen)	[km]	3.240	3.618	2.575	2.575	1.043	0.379	1.043	1.043	0.379	0.379	2.575	7.092
Anteil Eigentraillierte Ergänzungsnetz (auf Gesamt-Linienlänge bezogen)	[%]	10.9%	11.6%	10.9%	10.7%	5.2%	2.7%	10.2%	10.5%	9.0%	9.6%	31.5%	12.7%
Gesamtlinienlänge (Kernnetz + Ergänzungsnetz)	[km]	53.514	54.713	53.927	53.927	53.746	51.969	53.414	49.487	51.969	51.969	53.927	55.704
Eigentraillierte Total (Kernnetz (100%) + Ergänzungsnetz; bezogen auf Linienlängen)	[km]	27.073	27.172	32.820	32.541	34.593	38.151	44.249	40.601	48.139	48.418	48.325	7.092
Anteil Eigentraillierte Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	50.6%	49.7%	60.9%	60.3%	64.4%	73.4%	82.8%	82.0%	92.6%	93.2%	89.6%	12.7%

Verbindungen

Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsmaatrix	[-]	330	327	333	329	330	331	330	331	333	332	331	319
--	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Abdeckung durch neues System

Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgesiede (in Ergänzung zur Stadtbahn): [-]		8	9	9	10	10	10	10	8	10	9	10	0
--	--	---	---	---	----	----	----	----	---	----	---	----	---

Netzgrösse (Reserve), nur bei Tram

Anzahl Einsatzfahrzeuge (Tram) Kernnetz (Spitzenstunde)	[-]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anzahl Reservefahrzeuge (Tram) Kernnetz (Spitzenstunde)	[-]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark, nur bei Tram	[%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Produktivität des Rollmaterials im Kernnetz

Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	89.4%	89.9%	92.2%	89.9%	89.9%	87.6%	87.4%	89.2%	90.9%	90.7%	90.0%	0.0%
--	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Bewertung 1. Stufe: Nutzwertanalyse Tramvarianten

		Gewichtung	bester Wert	schlechterster Wert	delta	T1 (1)	T1 (2)	T1 (3)	T2 (1)	T2 (2)	T2 (3)	T2 (4)	T2 (5)	T2 (6)	T2 (7)	T2 (8)	T2 (9)	T2 (10)	
Tabname						Tram 1LbWtpkCsA	Tram 1LBWtpkCsA	Tram 1LbWtpkCsA	Tram 2LBWtpkCsA	Tram 2LBWtpkCsA	Tram 2LBWtpkCsA V1	Tram 2LBWtpkCsA V2	Tram 2LBWtpkCsA V3	Tram 2LBWtpkCsA V2	Tram 2LBWtpkCsA V3	Tram 2LBWtpkCsA V2	Tram 2LBWtpkCsA V3	Tram 2LBWtpkCsA V2	
Variantencode						Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	Tram	
System																			
Investitionskosten Kernnetz	[CHF]	14%	349055000	1060640000	-711585000	349055000	401800000	752150000	589260000	637175000	637175000	538020000	538020000	1060640000	1060640000	941115000	941115000	873180000	
Nutzenpunkte			10	1	9	10.00	9.33	4.90	6.96	6.36	6.36	7.61	7.61	1.00	1.00	2.51	2.51	3.37	
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzenstunde	[CHF]	14%	6750	9044	-2293	7255	6867	7763	7370	8087	8129	7127	6899	8422	9044	6750	7290	7252	
Nutzenpunkte			10	1	9	8.02	9.54	6.03	7.57	4.76	4.59	8.52	9.42	3.44	1.00	10.00	7.88	8.03	
Anteil Eigentassierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	14%	68%	28%	40%	28%	31%	50%	43%	44%	44%	41%	41%	68%	68%	63%	63%	57%	
Nutzenpunkte			10	1	9	1.00	1.65	6.05	4.39	4.71	4.71	3.94	3.94	10.00	10.00	8.91	8.91	7.50	
Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsmatrix	[·]	14%	330	308	22	324	321	328	316	324	328	309	308	330	328	308	308	325	
Nutzenpunkte			10	1	9	7.55	6.32	9.18	4.27	7.55	9.18	1.41	1.00	10.00	9.18	1.00	1.00	7.95	
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadtbahn)	[·]	14%	8	4	4	4	6	4	8	8	8	7	7	8	8	7	7	6	
Nutzenpunkte			10	1	9	1.00	5.50	1.00	10.00	10.00	10.00	7.75	7.75	10.00	10.00	7.75	7.75	5.50	
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark, nur bei Tram	[%]	14%	15%	33%	-18%	33%	30%	23%	20%	18%	17%	20%	20%	15%	15%	18%	16%	19%	
Nutzenpunkte			10	1	9	1.00	2.64	6.03	7.55	8.70	9.18	7.55	7.55	10.00	10.00	8.70	9.61	8.16	
Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	14%	91%	81%	10%	89%	87%	86%	84%	89%	81%	88%	82%	91%	87%	90%	86%	82%	
Nutzenpunkte			10	1	9	7.83	6.13	5.13	3.33	7.97	1.00	7.20	1.34	10.00	6.45	8.73	5.67	1.55	
Total Nutzenpunkte			100%	10	1	9	5.20	5.87	5.47	6.30	7.15	6.43	6.28	5.51	7.78	6.80	6.80	6.19	6.01

Bewertung 1. Stufe: Nutzwertanalyse BRT-Varianten

		Gewichtung	bester Wert	schlechterster Wert	delta	BRT2 (1)	BRT2 (2)	BRT2 (3)	BRT2 (4)	BRT3 (1)	BRT3 (2)	BRT3 (3)	BRT3 (4)	BRT3 (5)	BRT3 (6)	BRT3 (7)	
Tabname						BRT2L B WtpkCSäirz	BRT2L B WtpkCSäirz	BRT2L B WtpkCSäirz	BRT2L B WtpkCSäirz	BRT3L B WtpkCSäirz							
Variantencode						BRT											
System																	
Investitionskosten Kernnetz	[CHF]	17%	342765000	619230000	-276465000	342765000	348330000	403440000	409005000	414915000	458610000	567660000	481230000	611355000	605790000	619230000	
Nutzenpunkte			10	1	9	10.00	9.82	8.02	7.84	7.65	6.23	2.68	5.49	1.26	1.44	1.00	
Betriebskosten Kern- und Ergänzungsnetz während Spitzenstunde	[CHF]	17%	8447	10886	-2439	8467	8472	9781	9648	8633	9615	9282	8447	10873	10886	10770	
Nutzenpunkte			10	1	9	9.92	9.91	5.08	5.57	9.32	5.69	6.92	10.00	1.05	1.00	1.43	
Anteil Eigentassierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Liniengängen bezogen)	[%]	17%	93%	50%	44%	51%	50%	61%	60%	64%	73%	83%	82%	93%	93%	90%	
Nutzenpunkte			10	1	9	1.19	1.00	3.32	3.21	4.04	5.91	7.86	7.70	9.89	10.00	9.26	
Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsmaatrix	[·]	17%	333	327	6	330	327	333	329	330	331	330	331	333	332	331	
Nutzenpunkte			10	1	9	5.50	1.00	10.00	4.00	5.50	7.00	5.50	7.00	10.00	8.50	7.00	
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadtbahn)	[·]	17%	10	8	2	8	9	9	10	10	10	10	8	10	9	10	
Nutzenpunkte			10	1	9	1.00	5.50	5.50	10.00	10.00	10.00	10.00	1.00	10.00	5.50	10.00	
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark, nur bei Tram	[%]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Nutzenpunkte			10	1	9												
Durchschnittlicher Anteil Fahrzeit an Umlaufzeit pro Fahrzeug (Kernnetz)	[%]	17%	92%	87%	5%	89%	90%	92%	90%	90%	88%	87%	89%	91%	91%	90%	
Nutzenpunkte			10	1	9	4.84	5.78	10.00	5.71	5.66	1.42	1.00	4.34	7.58	7.25	5.86	
Total Nutzenpunkte			100%	10	1	9	5.41	5.50	6.99	6.06	7.03	6.04	5.66	5.92	6.63	5.61	5.76

Bewertung 2. Stufe: Verwendete Tagesganglinie

angenäherte Tagesgangline Werktag&Samstag		
	massgebend (beide Rcht.)	
5-6	0.02	RVZ
6-7	0.09	NVZ
7-8	0.15	HVZ
8-9	0.12	HVZ
9-10	0.07	HVZ
10-11	0.05	NVZ
11-12	0.05	NVZ
12-13	0.05	NVZ
13-14	0.06	NVZ
14-15	0.05	NVZ
15-16	0.06	NVZ
16-17	0.1	HVZ
17-18	0.14	HVZ
18-19	0.13	HVZ
19-20	0.1	HVZ
20-21	0.06	NVZ
21-22	0.05	NVZ
22-23	0.04	RVZ
23-24	0.04	RVZ
	1.4	
TOTAL HVZ		7
TOTAL NVZ		9
TOTAL RVZ		3

angenäherte Tagesgangline Sonntag		
5-6		RVZ
6-7		NVZ
7-8		NVZ
8-9		NVZ
9-10		NVZ
10-11		NVZ
11-12		NVZ
12-13		NVZ
13-14		NVZ
14-15		NVZ
15-16		NVZ
16-17		NVZ
17-18		NVZ
18-19		NVZ
19-20		NVZ
20-21		RVZ
21-22		RVZ
22-23		RVZ
23-24		RVZ
TOTAL HVZ		0
TOTAL NVZ		14
TOTAL RVZ		5

Bewertung 2. Stufe: Berechnung Betriebskostenzuschlag für grosse Reserve

Laufleistung		T1(2)	T2(6)	BRT2(3)	BRT3(1)
Variante					
Laufleistung pro Jahr (Tram / DGB)	[Fzkm]	601070	1909906	2865862	2562732
Anzahl Fahrzeuge (Tram / DGB), ohne Reserve	[-]	7	18	33	30
Laufleistung pro Fahrzeug und Jahr, ohne Reserve	[Fzkm]	85867	106106	86844	85424
Betriebskostenzuschlag Reserve Tram					
Mittlere Laufleistung pro Tram und Jahr, ohne Reserve	[Fzkm]	95987			
Betriebskostensatz Tram	[CHF / Fzkm]	13.5			
Mittlere Betriebskosten pro Tram und Jahr	[CHF]	1295818			
Prozentbasis Betriebskostenzuschlag	[%]	50%			
Betriebskostenzuschlag grosse Reserve Tram	[CHF / Fz]	647909			
Betriebskostenzuschlag Reserve DGB					
Mittlere Laufleistung pro DGB im Jahr	[Fzkm]	86134			
Betriebskostensatz DGB	[CHF / Fzkm]	9			
Mittlere Betriebskosten pro DGB und Jahr	[CHF]	775209			
Prozentbasis Betriebskostenzuschlag	[%]	50%			
Betriebskostenzuschlag grosse Reserve BRT	[CHF / Fz]	387605			

Bewertung 2. Stufe: Mengengerüst

Variante	Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Tabname	Busplus HVZ	T1 (2) HVZ	T2 (6) HVZ	BRT2 (3) HVZ	BRT3 (1) HVZ
Variantencode	Busplus	T1 (2) NVZ	T2 (6) NVZ	BRT2 (3) NVZ	BRT3 (1) NVZ
System	Busplus	T1 (2) RVZ	T2 (6) RVZ	BRT2 (3) RVZ	BRT3 (1) RVZ
Investitionskosten					
Netzlänge neues System	[km]	0.000	11.480	30.304	26.896
Einheitkostensatz (abhängig von System)	[CHF / km]	0	3500000	3500000	1500000
Investitionskosten Kernetz	[CHF]	0	40180000	106064000	403440000
Betriebskosten					
Laufleistung					
Fahrzeugkilometer Standardbus während Spitzentunde (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	52.380	20.952	241.452	0.000
Fahrzeugkilometer Gelenkbus während Spitzentunde (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	296.838	133.862	69.328	167.492
Fahrzeugkilometer Anhängerzug während Spitzentunde (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	710.788	316.776	0.000	206.176
Fahrzeugkilometer DGB während Spitzentunde (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	743.142
Fahrzeugkilometer Tram während Spitzentunde (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[Fzkm]	0.000	0.000	0.000	441.388
Betriebskosten Laufleistung Kern- und Ergänzungsnetz, 1 Stunde	[CHF / h]	878	3912	2248	678
Betriebskosten Laufleistung pro Jahr	[CHF / a]	35801432	31352714	35559314	38574760
Unterhaltskosten neue Infrastruktur (Kernetz)					
Unterhaltskostensatz (abhängig vom System)	[CHF / km]	0	75000	75000	50000
Unterhaltskosten Kernetz pro Jahr	[CHF / a]	0	8631000	2272800	1344800
Zuschlag Reservefahrzeuge					
Anzahl Einsatzfahrzeuge Kernetz (Spitzentunde)	[·]	0	2	18	33
Anzahl Reservefahrzeuge Kernetz (Spitzentunde)	[·]	0	2	>3	>3
Anteil Reservefahrzeuge an Fahrzeugpark	[%]	0.0%	30.0%	15.0%	15.0%
Anzahl überdurchschnittliche Reservefahrzeuge Kernetz (nur Anteil >15%)	[·]	0	13	0	0
Zuschlagsatz für überdurchschnittliche Reserven (abhängig vom System)	[CHF]	0	647909	647909	387605
Zuschlag für überdurchschnittliche Reserve pro Jahr	[CHF / a]	0	971864	0	0
Total Betriebskosten pro Jahr	[CHF / a]	35801432	33185578	37832114	39919560
Zuverlässigkeit					
Unienlänge Kernetz (1 Rtg; Annahme: 100% eingetassiert)	[km]	0.000	11.480	33.458	30.245
Unienlänge Ergänzungsnetz (1 Rtg)	[km]	55.704	41.922	21.838	23.682
Eingtassierung Ergänzungsnetz (1 Rtg; bezogen auf Linienlängen)	[km]	7.092	4.968	3.920	2.575
Anteil Eingtassierung Ergänzungsnetz (auf Gesamt-Unienlänge bezogen)	[%]	12.7%	11.9%	18.0%	10.9%
Gesamtliniennlänge (Kernetz + Ergänzungsnetz)	[km]	55.704	53.402	55.298	53.927
Eingtassierung Total (Kernetz 100% + Ergänzungsnetz; bezogen auf Unienlängen)	[km]	7.092	16.448	37.383	32.820
Anteil Eingtassierung Total (Kernetz + Ergänzungsnetz, auf Liniennlängen bezogen)	[%]	12.7%	30.8%	67.6%	60.9%
Verbindungen					
Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsmatrix	[·]	319	321	330	333
Erschliessung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten					
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadtbahn):	[·]	0	8	8	9
					10
Takt					
Nachfragegewichteter überlagerter Takt über alle Abschnitte	[min]	3.91	9.06	13.05	6.85
Durchschnittlicher nachfragegewichteter überlagerter Takt über alle Abschnitte, ganzer Werktag [min]		6.30	9.72	9.08	6.51
					7.66
Produktivität des Rollmaterials					
Einsatzfahrzeuge nach Typ und Tageszeit					
Standardbus	[·]	4	2	14	0
Gelenkbus	[·]	16	8	4	0
Anhängerzug	[·]	35	17	0	11
Doppelgelenkbus	[·]	0	0	0	7
Tram	[·]	0	0	0	33
Total	[·]	55	27	18	51
					42
Gesamtanzahl Fahrzeuge im Fahrzeugpark (ohne Reserve)	[·]	55	37	37	51
(von Anhängerzügen wird nur der ziehende Standardbus berücksichtigt)					
Differenz d(A2) + d(S8) (Kontrolle, ob Ersatz A2 durch S8 in NVZ und RVZ möglich)		20	25	1	3
Fahrzeug-Einsatzstunden pro Werktag oder Samstag	[h]	385	243	54	299
Fahrzeug-Einsatzstunden pro Sonntag	[h]	0	378	90	0
Fahrzeug-Einsatzstunden pro Jahr	[h]	237802	181734	159265	208863
Einsatzstunden pro Fahrzeug und Jahr	[h]	4323.67	4911.73	4304.46	4095.35

Bewertung 2. Stufe: Bewertungsübersicht

Variantencode
System

Busplus	T1 (2)	T2 (6)	BRT2 (3)	BRT3 (1)
Busplus	Tram 1L B W t p k C s ä	Tram	BRT 2L B W T P k C S ä i r z	BRT 3L B W t P K C S ä i R z
Busplus	Tram	Tram	BRT	BRT

1. Kosten

Investitionskosten

Investitionskosten Kernnetz	[CHF]	0	40180000	1060640000	403440000	414915000
-----------------------------	-------	---	----------	------------	-----------	-----------

Betriebskosten

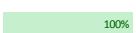
Betriebskosten Laufleistung pro Jahr	[CHF / a]	35801432	31352714	35559314	38574760	34352562
Unterhaltskosten Kernnetz pro Jahr	[CHF / a]	0	861000	2272800	1344800	1383000
Zuschlag für überdurchschnittliche Reserve pro Jahr	[CHF / a]	0	971864	0	0	0
Total Betriebskosten pro Jahr	[CHF / a]	35801432	33185578	37832114	39919560	35735612

Gesamtanuitäten

Annuität der Investitionskosten	$R = S_0 \cdot \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	[CHF / a]	(R: Annuität; So: Inv.kosten; i: Zinssatz; n: Nutzungsdauer)	0	20499538	54113067	20583210	21168656
Gesamtanuitäten		[CHF / a]		35801432	53685116	91945181	60502770	56904268

2. Wirksamkeit

Nutzwerte von 1 (schlecht) bis 5 (gut)

	Gewichtung	bester Wert	schlechter Wert	delta				
Flexibilität	 14%							
Nutzenpunkte (Abzug von 2 für BRT, Abzug 4 für Tram)		10	6	4	10.00	6.00	6.00	8.00
Erschließungswirkung neues System	 14%							
Netzlänge	[km]	30.304	0.000	30.304	0.000	11.480	30.304	26.896
Nutzenpunkte		10	1	9	1.00	4.41	10.00	8.99
Zuverlässigkeit	 14%							
Anteil Eigentransförmierung Total (Kernnetz + Ergänzungsnetz, auf Linienlängen bezogen)	[%]	67.6%	12.7%	54.9%	12.7%	30.8%	67.6%	60.9%
Nutzenpunkte		10	1	9	1.00	3.96	10.00	8.89
Verbindungen	 14%							
Erreichte Gesamtpunktzahl Verbindungsma	[-]	333	319	14	319	321	330	333
Nutzenpunkte		10	1	9	1.00	2.29	8.07	10.00
Erschließung von Entwicklungs- und Schwerpunktgebieten	 14%							
Anzahl erschlossener Schwerpunkts- und Entwicklungsgebiete (in Ergänzung zur Stadtbahn)	[-]	10	0	10	0	6	8	9
Nutzenpunkte		10	1	9	1.00	6.40	8.20	9.10
Takt	 14%							
Durchschnittlicher nachfragegewichteter Takt über alle Abschnitte, ganzer Werktag	[min]	6.30	9.72	-3.42	6.30	9.72	9.08	6.51
Nutzenpunkte		10	1	9	10.00	1.00	2.68	9.45
Produktivität Rollmaterial	 14%							
Einsatzstunden pro Fahrzeug und Jahr	[h]	4912	4095	816	4324	4912	4304	4095
Nutzenpunkte		10	1	9	3.52	10.00	3.31	1.00
Total Nutzenpunkte	 100%	10	1.71	8.29	3.93	4.87	6.89	7.92

3. Kosten-Wirksamkeits-Quotient

(je kleiner, desto besser)

Bezogen auf Investitionskosten	[-]	0	82581007	153858544	50943014	52378068
Rang		1	4	3	2	3
Bezogen auf Betriebskosten	[-]	9107438	6820554	5488002	5040707	4511195
Rang		9	4	3	2	1
Bezogen auf Gesamtanuitäten	[-]	9107438	11033725	13337750	7639782	7183485
Rang		3	4	2	2	1