



Metro/tram Zürich Stadtbahn oder U-Bahn für den Grossraum Zürich

Christine Furter

Masterarbeit
Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Juni 2013

IVT *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme*
Institute for Transport Planning and Systems

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Dank

Die vorliegende Masterarbeit entstand im Zeitraum Februar bis Juni 2013. Für die wissenschaftliche Betreuung und Begleitung während der Masterarbeit danke ich herzlich Herrn Prof. Dr. U. Weidmann und Herrn T. Fumasoli. Des Weiteren geht mein Dank an meine Familie und Freunde sowie Kollegen, welche mich mit Rat und Tat unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Ziele	2
1.3	Vorgehen	2
2	Methodik	4
2.1	Historischer Vergleich - Methode der Stadtauswahl	4
2.2	Historischer Vergleich - Methode des Vergleichs.....	5
2.2.1	Vergleich der Verkehrssysteme	5
2.2.2	Vergleich der Einflussfaktoren auf das Verkehrssystem.....	5
2.3	Analyse des Ist-Zustandes	6
2.4	Methode der Variantenentwicklung	6
2.4.1	Entwicklung der „Minimalvariante“	6
2.4.2	Entwicklung der „Maximalvariante“	6
2.4.3	Entwicklung weiterer Varianten	6
2.5	Methode der Variantenevaluation.....	6
3	Historischer Vergleich	7
3.1	Stadtauswahl	7
3.2	Stadtportraits	10
3.2.1	Zürich.....	10
3.2.2	Antwerpen	12
3.2.3	Hannover	13
3.2.4	Nürnberg.....	14
3.2.5	Stuttgart	15
3.2.6	Toulouse.....	16
3.3	Vergleich der Städte	17
3.3.1	Vergleich der Verkehrssysteme	17
3.3.2	Vergleich der Einflussfaktoren auf die Verkehrssysteme.....	19
3.4	Fazit.....	27

4	Ausgangslage, Analyse der Ist-Situation	28
4.1	Projektbegrenzung.....	28
4.1.1	Räumliche Abgrenzung	28
4.1.2	Zeitliche Abgrenzung	29
4.1.3	Inhaltliche Abgrenzung	29
4.2	Situationsanalyse.....	30
4.2.1	Raumnutzungsstruktur	30
4.2.2	Verkehrsmittel.....	36
4.2.3	Aktuelles Verkehrsangebot – Bestehendes Tramnetz 2013.....	39
4.2.4	Geplantes Verkehrsangebot – Liniennetz 2025	46
4.2.5	Verkehrsnachfrage	54
4.3	Randbedingungen	57
4.3.1	Räumliche und zeitliche Randbedingungen.....	57
4.3.2	Infrastrukturelle Randbedingungen	57
4.3.3	Technologische Randbedingungen.....	58
4.3.4	Finanzielle Randbedingungen.....	58
4.3.5	Umweltbezogene Randbedingungen	58
4.4	Anforderungen	59
4.4.1	Zugänglichkeit	60
4.4.2	Verfügbarkeit	60
4.4.3	Häufigkeit.....	60
4.4.4	Beförderungsgeschwindigkeit	60
4.4.5	Umsteigefreiheit.....	60
4.4.6	Zuverlässigkeit.....	60
4.4.7	Komfort und Qualität.....	60
4.5	Qualitative Zielgrößen	61
4.5.1	Minimierung der Reisezeit.....	61
4.5.2	Verbesserte Reisegeschwindigkeit auf den Tramlinien	61
4.5.3	Minimierung der Umsteigevorgänge	61
4.5.4	Optimierung der Lage der Umsteigepunkte	61

5	Variantenentwicklung	62
5.1	Varianten	62
5.1.1	Annahmen und Definitionen	62
5.1.2	Variante 1: Tramtunnel in der Innenstadt	68
5.1.3	Variante 2: Stadtbahn	77
5.1.4	Variante 3: U-Bahn	87
5.2	Machbarkeitsprüfung und Optimierung	99
5.2.1	Nachfrageabschätzung	99
5.2.2	Machbarkeitsprüfung	102
5.2.3	Integration in das Gesamtsystem des öffentlichen Verkehrs	103
6	Variantenevaluation	104
6.1	Qualitative Zielgrössen – Gegenüberstellung	104
6.2	Wirtschaftliche Zielgrössen – Gegenüberstellung	106
6.3	Variantenwahl	108
7	Fazit	109
8	Literaturverzeichnis	110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Stadtauswahl: Stadtfläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte 2010	8
Tabelle 2	Stadtauswahl: Wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung	9
Tabelle 3	Vergleich: Haltestellen- und Netzdichte	18
Tabelle 4	Vergleich: Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2010	20
Tabelle 5	Vergleich: Geografie und Topografie	23
Tabelle 6	Gemeinden mit den grössten Bevölkerungszunahmen	33
Tabelle 7	öffentliche Verkehrsmittel in Zürich, Produktstufen	36
Tabelle 8	Tram 2000, Fahrzeugeigenschaften	36
Tabelle 9	Cobra Tram, Fahrzeugeigenschaften	38
Tabelle 10	Luftdistanz und Fahrzeit unter den S-Bahnbahnhöfen der Innenstadt	40
Tabelle 11	Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien	41
Tabelle 12	Parameter der Verkehrsmittel bezüglich Angebot, Produktion, Rollmaterial und Infrastruktur	59
Tabelle 13	Kostenansätze – Investition	67
Tabelle 14	Kostenansätze – Produktion	67
Tabelle 15	Variante 1: Tramtunnel, Linienführung	68
Tabelle 16	Variante 1: Tramtunnel, infrastrukturelle Eigenschaften	72
Tabelle 17	Variante 1: Tramtunnel, Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien	73
Tabelle 18	Variante 1: Abschätzung des Kompositionsbedarfs und der Taktverkürzung	74
Tabelle 19	Variante 1: Tramtunnel, Berechnung der Produktionskosten	76
Tabelle 20	Variante 2: Stadtbahn, Haltestellen	81
Tabelle 21	Variante 2: Stadtbahn, infrastrukturelle Eigenschaften	82

Tabelle 22	Variante 2: Stadtbahn, Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien ..83
Tabelle 23	Variante 2: Abschätzung des Kompositionsbedarfs und der Taktverkürzung.....84
Tabelle 24	Variante 2: Stadtbahn, Berechnung der Produktionskosten.....86
Tabelle 25	Variante 3: U-Bahn, infrastrukturelle Eigenschaften.....92
Tabelle 26	Variante 3:U-Bahn, Fahrzeiten und Streckenlängen94
Tabelle 27	Variante 3: U-Bahn, Berechnung der Produktionskosten98
Tabelle 28	Nachfrageelastizität bezüglich Fahrzeitverkürzung99
Tabelle 29	Fahrzeit- und Nachfrageveränderung100
Tabelle 30	Bewertung der qualitativen Zielgrössen104
Tabelle 31	Bewertung der wirtschaftlichen Zielgrössen.....106

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Vergleich: Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2010	21
Abbildung 2	Stadt Zürich mit 1. und 2. Vorortsgürtel	28
Abbildung 3	Einwohner und Beschäftigte in den Zürcher Gemeinden des 1. Agglomerationsgürtels	30
Abbildung 4	Arbeitsplatz- und Einwohnerdichte in Zürich und den Gemeinden des 1. Agglomerationsgürtels	31
Abbildung 5	Prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung in den Agglomerationsgemeinden um Zürich, von 1980 bis 2011	32
Abbildung 6	Prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung nach Stadtquartier, von 2001 bis 2011.....	34
Abbildung 7	ZVV Liniennetzplan im Zürcher Innenstadtbereich	39
Abbildung 8	Stadtbereiche, Übersicht.....	42
Abbildung 9	Systemgeschwindigkeit unter den Stadtgebieten	43
Abbildung 10	Mittelwerte und Bandbreite der Systemgeschwindigkeit.....	45
Abbildung 11	Tram Zürich-West, neue Linienführung der Linien 4 und 17.....	48
Abbildung 12	Tram Hardbrücke, neue Linienführung.....	49
Abbildung 13	Tramtangente Rosengarten, neue Linienführung	51
Abbildung 14	Tramtangente Zürich Süd, neue Linienführung	53
Abbildung 15	Verkehrsnachfrage MIV und ÖV im Kanton Zürich 2030	54
Abbildung 16	Personenkilometer an einem durchschnittlichen Werktag (DTV), nach Verkehrszweck.....	55
Abbildung 17	Lichtraumprofil auf freier Strecke	63
Abbildung 18	ausgewählte Verbindungen zur Bewertung der Varianten.....	66
Abbildung 19	Variante 1: Tramtunnel, Liniennetzplan	69

Abbildung 20	Variante 1: Tramtunnel, oberirdische Linienführung	70
Abbildung 21	Variante 1: Tramtunnel, unterirdische Linienführung	71
Abbildung 22	Variante 1: Tramtunnel, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung	75
Abbildung 23	Variante 2: Stadtbahn, Tunnelbereich	78
Abbildung 24	Variante 2: Stadtbahn, Linien- und Haltestellenübersicht	79
Abbildung 25	Variante 2: Stadtbahn, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung	85
Abbildung 26	Variante 3: Entwicklung.....	88
Abbildung 27	Variante 3: Linienwahl.....	89
Abbildung 28	Variante 3: U-Bahn, Übersicht.....	90
Abbildung 29	Variante 3: U-Bahn, Linienführung	91
Abbildung 30	Variante 3: U-Bahn, oberirdische und unterirdische Streckenabschnitte	93
Abbildung 31	Variante 3: U-Bahn, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung	95
Abbildung 32	Nachfrageveränderung der Varianten infolge Fahrzeitverkürzung..	101

Abkürzungen

TAO	Tramwege von Antwerpen en Omstreken
CGTA	Compagnie Générale des Tramways d'Anvers
MIVA	Maatschappij voor het Intercommunal Vervoer te Antwerpen
SNCV	Société nationale des chemines de fer vicinaux
VVS	Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart
VAL	Vehicule automatique léger
HVZ	Hauptverkehrszeit
VBZ	Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich
ZVV	Zürcher Verkehrsverbund
FZ	Fahrzeit
Hst	Haltestelle/n
DL	Dienstleistungen
ÖV	Öffentlicher Verkehr
MIV	Motorisierter Individual Verkehr

Masterarbeit Studiengang Bauingenieurwissenschaften

Metro/tram Zürich

Christine Furter
ETH Zürich
Amselweg 3
4562 Biberist

Telefon: 079 206 88 57
cfurter@ethz.ch

Juni 2013

Kurzfassung

Das Zürcher Tramnetz stösst an die Grenzen seiner Kapazität und Leistungsqualität. Mit einer Weiterentwicklung zur Stadt- oder U-Bahn soll diese Situation entspannt werden. Dazu werden verschiedene Varianten mit Tieferlegung des Trams im Innenstadtbereich erarbeitet.

Ein Vergleich Zürichs mit anderen europäischen Städten ähnlicher Grösse zeigt, dass die Bevölkerungsentwicklung und geo-sowie topografische Lage zwar einen grossen Einfluss auf die Entwicklung von Stadtbahn- und U-Bahnprojekten haben, in der Schweiz jedoch der politische Einfluss entscheidend ist.

Der Bearbeitungsraum wird auf die Stadt Zürich und den ersten Agglomerationsgürtel beschränkt. Die Tramlinien werden auf ihre Reisegeschwindigkeit untersucht. Die Analyse zeigt, dass die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit bei den meisten Linien unter 15 km/h liegt. Im Bearbeitungsraum werden ausserdem 30 Knoten ausgewählt und auf ihre Systemgeschwindigkeit untersucht. Der Mittelwert der Systemgeschwindigkeit ist im Innenstadtbereich besonders niedrig. Dieser und die Verbindungen zu den äusseren Gebieten werden mit drei Varianten verbessert.

Die Varianten werden in der Evaluation nach qualitativen und wirtschaftlichen Zielgrössen beurteilt. Aus der Diskussion der Ergebnisse geht die Stadtbahn-Variante als optimale Variante hervor.

Schlagworte

Tramnetz; Zürich; Metro/tram; Stadtbahn; U-Bahn; Reisezeit; Systemgeschwindigkeit; Masterarbeit in Verkehrssysteme

Zitierungsvertrag

Furter C. (2013) Metro/tram Zürich – Stadtbahn oder U-Bahn für den Grossraum Zürich?, *Masterarbeit in Verkehrssysteme*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich

Quelle Titelbild:

Homepage der NZZ, (abgerufen am 26. Juni 2013) Haltestelle Waldgarten, Tram der Linie 9
http://www.nzz.ch/aktuell/zuerich/stadt_region/moeglichst-wenig-schlupfwinkel-1.17791901#gallery:zoom_1-17791901

1 Aufgabenstellung

1.1 Ausgangslage

Zürich ist die grösste Stadt der Schweiz und Zentrum eines Ballungsraumes von gegen 1.5 Mio. Einwohnern. Für die Zukunft wird ein weiteres erhebliches Einwohner- und Arbeitskräftewachstum erwartet, dies verstärkt auch in der Stadt selbst. Das Zürcher Tramnetz hielt mit dieser Entwicklung schon bisher nicht Schritt und stösst nun endgültig an die Grenzen der Kapazität, Leistungsqualität und Wirtschaftlichkeit. Auch die Möglichkeiten der S-Bahn sind im Innenstadtbereich nahezu ausgeschöpft.

Aufgrund dieser Erkenntnis und reger Diskussionen über die Zürcher U-Bahn-Pläne der 70er-Jahre entstand die Ideenskizze „Metro/tram“ des IVT in Zusammenarbeit mit der Zeitschrift Hochparterre. Darin wurde ein Entwicklungskonzept basierend auf dem Tram dargestellt. Es fragt sich aber, ob dieses genügend zukunftsgerichtet ist oder besser der Schritt zur U-Bahn gewagt werden sollte.

1.2 Ziele

In der Arbeit sind Konzepte zur Weiterentwicklung des Trams zu einer leistungsfähigeren und schnelleren Stadtbahn oder dessen teilweiser Ersatz durch ein U-Bahn-System zu erstellen. Dabei ist insbesondere eine teilweise oder gänzliche Tieferlegung in der Innenstadt zu prüfen. Ein Liniennetz ist in Varianten zu entwerfen und eine summarische Machbarkeitsprüfung durchzuführen. Die Integration in das Gesamtsystem des öffentlichen Verkehrs ist aufzuzeigen.

1.3 Vorgehen

Einleitend ist die Situation in Zürich aufgrund der Literatur einem historischen Vergleich mit anderen Städten ähnlicher Grösse und Voraussetzungen zu unterziehen. Es sollen die Treiber, welche in diesen Städten zur Entwicklung eines U-Bahn-Systems oder einer Stadtbahn geführt haben, identifiziert werden.

Die weitere Arbeit richtet sich nach dem Planungsprozess der Angebotsplanung. In einem ersten Schritt ist die bestehende Angebotsstruktur und Leistungsqualität des öffentlichen Verkehrs in Zürich und den nächsten Agglomerationsgemeinden zu analysieren. Im Vordergrund steht dabei die Verbindung der Quartiere und Agglomerationsgemeinden untereinander, insbesondere das Angebot an Direktverbindungen und die Beförderungsgeschwindigkeit. Die Nachfrage auf den analysierten Korridoren kann qualitativ betrachtet werden. Fernverkehr und Feinerschliessung sind als Rahmenbedingun-

gen zu betrachten. In die Analyse sollen auch sich im Bau befindliche, beschlossene und zu erwartende Ausbauten des Tram- und S-Bahn-Netzes einfließen.

Qualitative Zielgrößen sind aufgrund identifizierter Mängel des bestehenden Angebots zu definieren, wiederum anhand der Direktverbindungen und der Beförderungsgeschwindigkeit. Wirtschaftliche Größen sollen erst im Rahmen der Evaluation erhoben werden.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Erarbeitung verschiedener Varianten des Linien- und Netzaufbaus. Dazu soll eine Variante mit minimalem Eingriff in die bestehende Struktur sowie eine, von bestehenden Verkehrsmitteln vollständig unabhängige U-Bahn als „Maximalvariante“ geplant werden. Gegebenenfalls ist der Variantenfächer mit weiteren Varianten anzureichern, welche Elemente einer Stadtbahn mit Elementen eines U-Bahn-Systems kombinieren. Dabei kann – muss aber nicht – auf die Ideenskizze „Metro/tram“ zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der Evaluation sind die Kosten sowie die Investitionskosten grob abzuschätzen. Die definierten qualitativen Zielgrößen sind auf ihren Erreichungsgrad zu prüfen.

2 Methodik

Dieses Kapitel beschreibt die Methoden, welche in der Arbeit angewendet wurden.

2.1 Historischer Vergleich - Methode der Stadtauswahl

Durch einen historischen Vergleich mit anderen Städten soll herausgefunden werden, weshalb Zürich keine U-Bahn besitzt. Die Auswahl von geeigneten Städten wurde mithilfe der folgenden Kriterien eingegrenzt:

Geschichtlicher Hintergrund

Der geschichtliche Hintergrund spielt für die Entwicklung einer Stadt eine bedeutende Rolle. Sowohl Krisen wie auch wirtschaftlicher Aufschwung und werden massgeblich durch historische Ereignisse geprägt. Damit die geschichtliche Grundlage für alle Städte gleich ist, wurde die Stadtauswahl auf Europa beschränkt.

Die Quellen (Hinkel, et al., 2004) und (Schwandl, 2007) umfassen eine Zusammenstellung aller europäischer Städte mit Stadtbahn oder U-Bahnsystemen. Sie wurden als Basis für die weiteren Auswahlkriterien verwendet.

Bevölkerung

In einem ersten Schritt werden alle Städte ausgeschlossen, welche nicht innerhalb des folgenden Spektrums der Bevölkerungszahl liegen: minimal 200'000 (ca. die Hälfte von Zürichs Einwohnerzahl) und maximal bis zu 800'000 (ca. das Doppelte).

Nicht nur die Einwohnerzahl, sondern auch die Bevölkerungsdichte ist beim Vergleich der Städte von Interesse. Die Dichte bestimmt die Art und die Häufigkeit der erforderlichen öffentlichen Verkehrsmittel. In einem zweiten Schritt wurden daher Städte ausgeschlossen, welche eine Bevölkerungsdichte von unter 2'500 Einw./km² oder über 6'000 Einw./km² aufweisen. (Zürich mit ca. 4'000Einw./km²)

Wirtschaft und Kultur

Wirtschaft, Industrie, Kultur und Bildung sind wichtige Grössen, die das Wachstum und die Entwicklung einer Stadt beeinflussen. Als letztes Kriterium wurden daher diese Eigenschaften untersucht. Städte mit einer stark polarisierenden Wirkung oder mit einem bedeutend grösseren wirtschaftlichen oder kulturellen Potenzial wurden ausgeschlossen.

2.2 Historischer Vergleich - Methode des Vergleichs

2.2.1 Vergleich der Verkehrssysteme

Die Verkehrssysteme der aus der Stadtauswahl hervorgegangenen Städte werden miteinander auf ihre Eigenschaften verglichen. Dabei werden die folgenden Eigenschaften untersucht:

- Haltestellendichte [Haltestellen/km²]
- Netzdichte [km/km²]
- Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]

2.2.2 Vergleich der Einflussfaktoren auf das Verkehrssystem

Verschiedene Faktoren üben einen mehr oder minder starken Einfluss auf die Verkehrssysteme der Städte aus. Im Vergleich der Städte aus der Stadtauswahl werden die folgenden drei Faktoren behandelt:

Bevölkerungsentwicklung

Anhand der Bevölkerungsentwicklung wird untersucht, wie sich diese auf die Entstehung von Verkehrsnetzen ausübt. Betrachtet werden Bevölkerungszahlen von 1900 bis heute.

Geografie und Topografie

Untersucht wird durch den Vergleich der geografischen und topografischen Eigenschaften der Städte, welchen Einfluss diese auf das Verkehrsnetz haben.

Politik

Mit diesem Faktor werden die politischen Systeme der ausgewählten Städte untersucht. Die Politik trifft wichtige verkehrstechnische Entscheidungen, von welchen die Planung von Verkehrsprojekten im öffentlichen wie auch im Strassenverkehr stark abhängt.

2.3 Analyse des Ist-Zustandes

Im zweiten Teil der Arbeit wird zunächst der Ist-Zustand untersucht. Das Vorgehen bei der Analyse entspricht den ersten fünf Schritten des „Neun-Schritte-Verfahrens“, gemäss (Weidmann, 2011 A). Diese Schritte sind:

- Schritt 1: Projektabgrenzung
- Schritt 2: Situationsanalyse
- Schritt 3: Randbedingungen
- Schritt 4: Anforderungen
- Schritt 5: Zielgrössen (nur qualitative)

2.4 Methode der Variantenentwicklung

Die Methode der Variantenentwicklung entspricht dem sechsten Schritt (Angebotsentwicklung) des „Neun-Schritte-Verfahrens“ (Weidmann, 2011 A).

2.4.1 Entwicklung der „Minimalvariante“

Um die „Minimalvariante“ zu entwickeln wurde das Tramnetz zunächst auf die Reisegeschwindigkeit der Linien untersucht. Aufgrund der Auswertung wurde die kritischste Stelle im Netz erkannt und versucht diesen Bereich mit möglichst kleinen baulichen Massnahmen zu verbessern.

2.4.2 Entwicklung der „Maximalvariante“

Bei der Entwicklung der „Maximalvariante“ waren den baulichen und finanziellen Ansprüchen grosszügigere Grenzen gesetzt. Aufgrund der Analyse des bestehenden Systems wurden zunächst Systemhaltepunkte definiert. Diese wurden mit weiteren wichtigen Haltepunkten ergänzt. Die Verbindungen der festgelegten Haltepunkte wurden unter Berücksichtigung der Nachfrage und mit dem Ziel, neue schnelle Verbindungen zu schaffen, ausgewählt.

2.4.3 Entwicklung weiterer Varianten

Eine weitere Variante wurde aufbauend auf der „Minimalvariante“ entwickelt. Der Bereich für die Massnahmen wurde dabei erweitert.

2.5 Methode der Variantenevaluation

Die Variantenevaluation erfolgte durch den Vergleich der qualitativen und wirtschaftlichen Zielgrössen. Alle Varianten wurden nach diesem Gesamtzielsystem beurteilt. Die Variante, welche das Zielsystem am besten erfüllt, wird als optimale Variante empfohlen.

3 Historischer Vergleich

Mit seinen starken Verkehrsströmen in das Stadtzentrum, ist Zürich auf ein leistungsfähiges und attraktives öffentliches Verkehrsnetz angewiesen. Heute wird dieses mehrheitlich durch den Zürcher Verkehrsverbund (ZVV) bereitgestellt und besteht aus S-Bahn-, Tram-, Trolleybus- und Buslinien.

Einige Grossstädte besitzen ein leistungsfähigeres Verkehrssystem als das Zürcher Tramnetz, wie beispielsweise eine Stadtbahn mit Tieferlegung im Innenstadtbereich oder ein U-Bahnnetz.

Dieses Kapitel widmet sich der Frage, wie es in einigen dieser Städte zu einer solchen Entwicklung kam und weshalb Zürich beim Tramnetz blieb. Nachfolgend werden zunächst die Resultate der Stadtauswahl dargelegt, anschliessend wird jede Stadt mit einem kurzen Portrait vorgestellt, zum Schluss folgen die Gegenüberstellung der Städte in einem Vergleich und das Fazit.

3.1 Stadtauswahl

Die Auswahlkriterien für Städte, welche sich mit Zürich vergleichen lassen, entsprechen denen im Kapitel 2.1 beschriebenen Punkten. Als Resultat der Stadtauswahl gingen die Städte Antwerpen, Hannover, Nürnberg, Stuttgart und Toulouse hervor. Das Auswahlverfahren ist im Anhang A1: Stadtauswahl mittels einer Tabelle dokumentiert.

Nachfolgend wird die Ähnlichkeit dieser Städte in den beiden Kriterien Bevölkerung und Wirtschaft und Kultur dargelegt.

Bevölkerung

In Tabelle 1 werden deren aktuellen Daten zur Stadtfläche, Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte einander gegenübergestellt. Die Einwohnerzahlen liegen allesamt zwischen 370'000 und 610'000 Einwohnern. Noch deutlicher wird die Ähnlichkeit unter den Städten, wenn die Bevölkerungsdichte untersucht wird. Werden in Zürich die Gemeinden des ersten Agglomerationsgürtels mitberücksichtigt, erreicht das Gebiet eine Bevölkerungsdichte von rund 3'150 Einwohnern pro km². Damit reiht sich Zürich unter die anderen Städte ein, deren Werte zwischen 2'560 und rund 3'720 Einwohnern pro km² liegen.

Tabelle 1 Stadtauswahl: Stadtfläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte 2010

	Antwerpen	Hannover	Nürnberg	Stuttgart	Toulouse	Zürich Stadt	Zürich + 1. Aggl.-gürtel
Stadtfläche [km ²]	175.3 ¹	204 ³	186.4 ⁴	207.4 ⁶	118.3 ¹	91.9 ⁹	170.4 ¹¹
Anzahl Einwohner, aktuell ca. 2010	511'716 ²	522'686 ³	510'602 ⁴	606'588 ⁷	440'204 ⁸	372'857 ¹⁰	536'273 ¹¹
Bevölkerungsdichte [Einw./km ²]	2'919 ²	2'560 ³	2'739 ⁵	2'925 ⁵	3'721 ⁸	4'057 ⁵	3'147 ⁵

¹ Berechnet aus Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte

² (Stadt Antwerpen, 2013 A)

³ (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, 2010)

⁴ (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2013)

⁵ Berechnet aus Stadtfläche und Anzahl Einwohner

⁶ (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2011)

⁷ (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2013)

⁸ (Institut national de la statistique et des études économiques INSEE, 2012)

⁹ (Stadt Zürich, 2013 D)

¹⁰ Die Zahlen beziehen sich auf das heutige Stadtgebiet Zürichs (Stadt Zürich, 2012 C)

¹¹ (Kanton Zürich, 2013) Zürich und 1. Agglomerationsgürtel

Wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung

In Tabelle 2 werden die wirtschaftlichen und kulturellen Eigenschaften der Städte dargestellt. Da die Wirtschaft einen grossen Einfluss auf das Entwicklungspotenzial von Verkehrssystemen hat, wurde der Schwerpunkt auf dieses Kriterium gelegt.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Stuttgart und Antwerpen ist gegenüber den anderen Städten etwas stärker. Die Funktion die die Wirtschaft in allen Städten einnimmt kann aber durchaus auf eine Ebene gestellt werden. Zumal die Städte nicht als alleinstehende grosse Metropolen ausgebildet sind, sondern in ihrem unmittelbaren Umfeld weitere kleinere Städte vorhanden sind, welche die Wirtschaft auf mehrere Standorte verteilen.

Tabelle 2 Stadtauswahl: Wirtschaftliche und kulturelle Bedeutung

	Wirtschaft	Kultur
Antwerpen ¹	Besitz den zweitgrössten Hafen Europas, wichtigster Umschlagplatz für Diamanten	Kultureller Mittelpunkt Flanderns
Hannover ²	Landeshauptstadt von Niedersachsen, „die Region Hannover ist Norddeutschlands Verkehrsknoten, Verwaltungsmittelpunkt und Finanzzentrum“ ²	
Nürnberg ³	Zweitgrösste Stadt Bayerns, „Nürnberg ist das Wirtschafts-, Dienstleistungszentrum und Mittelpunkt der Metropolregion Nürnberg“ ³	„Nürnberg ist das Kulturzentrum Nordbayerns“ ³
Stuttgart ⁴	Landeshauptstadt von Baden-Württemberg, wichtigster Industriestandort des Landes, „Stuttgart ist das Zentrum einer der wirtschaftsstärksten Metropolregionen und innovativsten High-Tech Standorte in Europa“ ⁴	„Stuttgart ist bekannt für das spannende Kulturleben und die hochkarätigen internationalen Sportveranstaltungen“ ⁴
Toulouse ⁵	Hauptstadt des französischen Departements Haute-Garonne, Forschungszentrum für Raum- und Luftfahrt, Zentrum verschiedener Industriezweige	
Zürich ⁶	Zürich ist ein wirtschaftliches Zentrum der Schweiz. Es gilt als Bankenstadt und wird seinem Namen mit einer Vielzahl von Bankinstituten und Banken gerecht, welche ihren Hauptsitz in Zürich haben.	Zürich gilt als kulturelles und gesellschaftliches Zentrum der Schweiz.

¹ (Stadt Antwerpen, 2013 B)² (Stadt Hannover, 2013)³ (Stadt Nürnberg, 2013)⁴ (Stadt Stuttgart, 2013)⁵ (Hinkel, et al., 2004)⁶ (Stadt Zürich, 2013 D)

3.2 Stadtportraits

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Städte genauer beschrieben. Das Portrait beinhaltet jeweils einen allgemeinen, einleitenden Teil mit Informationen über die Bevölkerung, Fläche und Geografie der Stadt. Danach folgen der Beschrieb der vorhandenen Strassenbahn-, Stadtbahn- oder U-Bahnnetze und deren Geschichte. Anschliessend werden die weiteren Verkehrsmittel der Stadt beschrieben.

3.2.1 Zürich

Zürich und seine Agglomerationen sind ein wichtiges Wirtschaftszentrum der Schweiz. Es bietet seinen 390'000 Einwohnern, nimmt man die umliegenden Gemeinden des 1. Agglomerationsgürtels hinzu sogar 540'00 Einwohnern, eine hohe Lebensqualität. (Stadt Zürich, 2012 C)

Die Stadtfläche mit 91.9 km² wird durch Bus-, Trolleybus- und Tramlinien erschlossen. Die Hauptverkehrsadern werden durch das Tramnetz bedient, unterstützt durch einige hochfrequentierte Buslinien. Als Konkurrenz zum Tram übernimmt auch die S-Bahn einen grossen Teil der Nachfrage innerhalb der Stadt Zürich, da diese Verbindungen bedeutend höhere Reisegeschwindigkeiten aufweisen.

Geschichte der Strassenbahn in Zürich:

Quelle: (Bernet, 2012)

- 1882: normalspuriges Pferdebahnnetz mit 3 Linien
- 1894: Eröffnung der „Elektrischen Strassenbahn Zürich“, meterspurig, privat (Bellevue, Pfauen, Römerhof, Kreuzplatz, Burgwies)
- 1895: Eröffnung der „Zentrale Zürichbergbahn“ (ZZB), privat (Fluntern und Oberstrass)
- 1897: Eröffnung der „Strassenbahn Zürich-Oerlikon-Seebach“ (ZOS), privat (mit Zweiglinien nach Glattdbrugg und Schwamendingen)
- 1898: Verbinden die „Industriequartier-Strassenbahn“ (IStB) und die „Strassenbahn Zürich-Höngg“ (StZH) die Vorortsgemeinde Höngg mit dem Hauptbahnhof
- 1900: Umbau der Pferdebahn auf meterspurigen, elektrischen Betrieb, heutiges Strassenbahnnetz bestand in seinem Kernstück
- 1922-1930: Bedeutende Erweiterungen (Sportplatz Hardturm, Hofwiesenstrasse, Oerlikon)
- 1930: wirtschaftsbedingter Frequenzrückgang, Überalterung des Rollmaterials zwingt zu Ersatzbeschaffungen
- Ende 1940er Jahre: Stromknappheit bewirkt erhebliche Einschränkungen des Strassenbahnbetriebes
- 1945: Kriegsperiode, Frequenzzunahme und Personalreduktionen belasten das Tramsystem stark
- 1954: neue Strecke (Wartau nach Frankental)
- 1950er Jahre: (Nach dem 2. Weltkrieg) Massenmotorisierung durch die Verbreitung des Autos, Umstellungen auf Autobusse und Stilllegungen waren die Folge, das Tramnetz blieb aufgrund der ernüchternden Erfahrungen mit dem Trolleybus im Innenstadtbereich vorwiegend unangetastet.
- 1962: Stimmbürger lehnen das Projekt Tiefbahn (als Ersatz der oberirdischen Tramlinien in der City) ab

- 1973: Stimmvolk lehnt U- und S-Bahn Vorlage ab, Meilenstein für die Weiterentwicklung des Tramnetzes, Beschaffung von neuem Rollmaterial, Modernisierung des Betriebs
- 1976: Tram 2000
- 1990: Gründung des Zürcher Verkehrsverbundes (ZVV)
- 1998: Tramverlängerung zum Hallenstadion
- 1995-2010: Idee, Planung, Bau und Inbetriebnahme der Glattalbahn
- Gegenwart (statistische Angaben von 2010/2011): 15 Tramlinien, 170.9km Gleis (inkl. Doppelspuren, Dienstverbindungen, Depotgleise), Betriebsstrecke 71.9km, Platzangebot im Tram 54'057 Steh- und Sitzplätze, von 625.9 Mio Personenkilometer der VBZ erbrachte der Trambetrieb 57% , also 355.1 Mio

Weitere Verkehrssysteme:

- Bus und Trolleybus: Die meisten Bus- und Trolleybuslinien dienen der Quartierserschliessung. Einige Linien sind wichtige Tangentialverbindungen und ergänzen das radial ausgerichtete Tramnetz.
- S-Bahn: Die S-Bahn stellt die Verbindung der Agglomerationen zum Stadtzentrum sicher. Die Linien bilden ein Radialnetz, welches den Hauptbahnhof Zürich als Zentrum hat. Im Innenstadtbereich ist die Haltestellendichte der S-Bahn bedeutend höher als auf den Ästen der Linien. Die S-Bahn weisst daher auch viele Fahrgäste auf den innerstädtischen Verbindungen auf und ist dementsprechend auf diesen Streckenabschnitten überlastet.
- Schiff und Fähre: Die Zürcher Schifffahrt wird primär durch den Tourismus genutzt. Die Fährverbindung zwischen Horgen und Meilen sowie einige Schifffahrtsstrecken werden vor allem in den Stosszeiten auch rege von Pendlern verwendet.

3.2.2 Antwerpen

Antwerpen liegt verkehrsgünstig an der Schelde. Die Nordseeküste liegt rund 80km entfernt und kann über die Schelde auch mit Hochseeschiffen erreicht werden, weshalb Antwerpen einen der bedeutendsten Häfen Europas besitzt. Stadt und Vororte zählen ca. 470'000 Einwohner, wovon der grössere Teil auf der rechten Flussseite wohnt. Zusammen mit 30 umliegenden Gemeinden umfasst der Ballungsraum Antwerpen ca. 1 Million Einwohner (Groneck, et al., 2009).

Antwerpen hat ein Strassenbahnnetz mit teilweise unterirdischer Führung in der Innenstadt. Der Metro-Tunnel sollte ursprünglich als erste Etappe des Baus einer Pre-Metro-Bahn umgesetzt werden. Zur Ausführung des Projektes kam es jedoch aus Kostengründen nicht. Heute wird der Pre-Metro-Tunnel teilweise mit der Strassenbahn befahren, einige Teile sind jedoch ungenutzt.

Geschichte der Strassenbahn in Antwerpen:

Quelle: (Groneck, et al., 2009)

- 1873 Eröffnung der ersten Pferdebahnstrecke, rasche Vergrösserung des Netzes durch verschiedene Unternehmen.
- 1899 Zusammenschluss der Pferdebahnen zur Compagnie Générale des Tramways d'Anvers (CGTA) anschliessend, Umbau auf Meterspur.
- 1903 Umstellung des ganzen Netzes (13 Linien) auf elektrischen Betrieb
- 1904 – 1944 Erweiterung des Netzes mit Streckenverlängerungen
- 1946 Übernahme der öffentlich-privaten Mischgesellschaft Tramwege von Antwerpen en Omstreken (TAO)
- 1946 Fahrgastzahlen erreichen ein Maximum von 138.7 Mio Fahrgästen /Jahr
- 1948 TAO führt Dieselbus als zusätzliches Verkehrsmittel ein
- 1963 erneute Umstrukturierung der TAO zur Maatschappij voor het Intercommunal Vervoer te Antwerpen (MIVA)
- 1966 Vertrag mit dem belgischen Staat zur Durchführung einer Studie mit dem Strassenbahnnetz
- 1970 Start des Tunnelbaus für die ersten Pre-Metro-Abschnitte
- 1976 erheblicher Rückgang der Fahrgastzahlen, nur noch 41.6 Mio Fahrgäste/Jahr
- 1988 Fertigstellung aller Tunnelstrecken im Rohbau
- 1989 Entscheidung zum unbefristeten Baustopp
- 1991 Übernahme durch das neue Verkehrsunternehmen De Lijn in ganz Flandern
- Bis 2009 Inbetriebnahme mehrerer Linien und teilweise Verlängerungen

Weitere Verkehrssysteme:

- Überbuslandnetz, von 1885 bis 1963 in Betrieb, zuletzt durch SNCV eingestellt und teilweise mit Regionalbuslinien ersetzt
- Bus: Das Regionalbusnetz übernahm teilweise die eingestellten Tramlinien, es ergänzt das Pre-Metro-Netz

3.2.3 Hannover

Hannover hat heute ca. 523'000 Einwohner (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, 2010) und ist die Landeshauptstadt von Niedersachsen. Das Stadtgebiet Hannovers wird von mehreren Flüssen durchflossen und ist von Hügelland umgeben. Mit seinen Agglomerationsgemeinden hat der Ballungsraum Hannover rund 850'000 Einwohner (Schwandl, 2007).

Das Stadtbahnnetz besitzt im Innenstadtbereich vollwertige U-Bahnstrecken, im äusseren Bereich werden die Linien oberirdisch, in strassenbündigen Abschnitten geführt. Die meisten oberirdischen Strecken haben jedoch einen eigenen Gleiskörper (Schwandl, 2007).

Geschichte der Stadtbahn in Hannover:

Quellen: (Schwandl, 2007) und (Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG, 2008)

- 1949 erste Pläne für eine U-Bahn in Hannover
- 1965 Baubeginn eines U-Bahnnetzes mit 3 Linien, Vorbild war die Planung in München und Nürnberg, nicht als reine U-Bahn, sondern als Stadtbahn mit ober- und unterirdisch geführten Strecken
- 1966 die 4. Linie kommt hinzu, auf den Tunnelstrecken verkehren nur neue Stadtbahnfahrzeuge
- 1975 Eröffnung der ersten Tunnelstrecke, Erfolg des Stadtbahnbaus kam durch den stückweisen Bau und anschliessender Inbetriebnahme
- 1993 Einweihung der letzten U-Bahnstationen in der Innenstadt
- Seit den 70er Jahren wurden einige Neubaustrecken für die Stadtbahn erstellt.
- 2006 letzte Erweiterung der Linie 3, weitere Streckenerweiterungen sind in Planung

Weitere Verkehrssysteme:

Quelle: (Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG, 2013)

- Bus: Das Busnetz hat eher ringförmig verlaufende Linien, welche das Stadtbahnnetz an vielen Punkten schneiden. Es übernimmt die Feinerschliessung.
- Strassenbahn: Bestand bereits vor der Planung der U-Bahn-Strecken, wurde nach und nach durch Stadtbahn ersetzt.
- S-Bahn: Besitzt nur wenige Stationen im Stadtgebiet und verkehrt auf den meisten Linien im 30-Minuten Takt, sie hat daher nur eine überregionale Bedeutung.

3.2.4 Nürnberg

Nürnberg ist mit seinen 511'000 Einwohnern die zweitgrösste Stadt in Bayern (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2012). Das Stadtgebiet wird östlich durch grosse Waldstücke begrenzt. Die Pegnitz teilt die Stadtfläche in eine Nord- und eine Südhälfte. Im Westen Nürnbergs liegen die Nachbarstädte Fürth und Stein, welche zusammen mit Nürnberg ca. 630'000 Einwohner haben (Schwandl, 2007).

In Nürnberg wurde ein zweiachsiges U-Bahnsystem eingerichtet. Die beiden Hauptachsen binden Fürth und Stein sowie den Flughafen an das Verkehrsnetz Nürnberg an. Zusätzlich zur U-Bahn besitzt die Stadt ein Strassenbahnnetz.

Geschichte der Nürnberger U-Bahn:

Quellen: (Schwandl, 2007) und (Hinkel, et al., 2004)

- Anfang der 60er Jahre plante Nürnberg zunächst eine U-Strassenbahn
- 1964 fiel die Entscheidung eine klassische U-Bahn nach Berliner Vorbild zu bauen
- 1967 Baubeginn der U1
- 1972-1982 Eröffnung der U1 in Teilstücken
- 1978 Anbindung des Hauptbahnhofs an das U-Bahnnetz und Baubeginn der U2
- 1984-1996 Eröffnung der U2 in Teilstücken
- 1999 Anbindung des Flughafens mit der U2
- 2008 Zwei von der U2 abzweigende Äste bilden die U3, welche vollautomatisch betrieben werden soll, die U2 soll ebenfalls auf den vollautomatischen Betrieb umgerüstet werden, während die U1 weiterhin manuell betrieben wird.

Weitere Verkehrssysteme:

Quellen: (Schwandl, 2007) und (Verkehrsverbund Grossraum Nürnberg, 2013)

- Bus: Das Busnetz ergänzt die U-Bahn-, S-Bahn und Strassenbahnlinien als Feinerschliesser. Besonders die äusseren Stadtbezirke werden mit dem Bus erschlossen.
- Strassenbahn: Das Strassenbahnnetz wurde durch den Bau und die Eröffnung der U-Bahn zunächst reduziert. Heute sind einige Streckenerweiterungen der Strassenbahn geplant. Das Strassenbahnnetz ergänzt die U-Bahnlinien im Innenstadtbereich zu einem dichten Netz. Die Haltestellenabstände der Strassenbahn sind dabei kürzer. Sie nimmt eine erschliessende Rolle ein, so wie das Busnetz in den äusseren Stadtkreisen.
- S-Bahn: Nürnberg hat bislang drei S-Bahnlinien, welche im tagsüber 20-Minuten Takt verkehren. Die Linien werden ausschliesslich oberirdisch geführt und haben eine Regionale Erschliessungsbedeutung.

3.2.5 Stuttgart

Stuttgart, die Landeshauptstadt von Baden-Württemberg, hat heute ca. 618'000 Einwohner (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2012). Die Stadt ist der wirtschaftliche und kulturelle Schwerpunkt einer polyzentrisch strukturierten Region. Stuttgart hat eine bedeutende wirtschaftliche Rolle, besonders verschiedene Industriezweige wie die Fahrzeug-, Maschinenbau- und Elektroindustrie sind hier angesiedelt (Hinkel, et al., 2004).

Das Stadtgebiet liegt in einem Talkessel, so dass auch die Stadtbahn grosse Höhenunterschiede überwinden muss. Das Stadtbahnnetz besteht dabei aus drei verschiedenen Linientypen: Tallängslinien, Diagonallinien und Talquerlinien (Schwandl, 2007).

Geschichte der Stadtbahn in Stuttgart:

Quellen: (Schwandl, 2007) und (Hinkel, et al., 2004)

- 1961 Beschluss zum Bau einer U-Strassenbahn für den Innenstadtbereich
- 1961-1964 Planung der U-Strassenbahn
- 1969 Beschluss zum Bau einer richtigen U-Bahn anhand des Vorbildes in München und Nürnberg
- 1976 Revision der Entscheidung zu Gunsten einer leichter umsetzbaren Stadtbahn durch Umbau der Strassenbahn von Meterspur auf Normalspur, dazu wurde ein 3-Schienen-Gleis verlegt, welches bis 2007 planmässig genutzt wurde
- 1977 Beginn des stadtbahnmassigen Ausbaus der oberirdischen Strecken
- 1983 alle Tunnelstrecken im Stadtzentrum wurden fertiggestellt
- 1985 Beginn des Stadtbahnbetriebs mit neuen Fahrzeugen
- Seit 1990 Erweiterungen und kleinere Tunnelabschnitte

Weitere Verkehrssysteme:

Quellen: (Schwandl, 2007) und (Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS), 2013)

- Bus: Das Busnetz übernimmt die Rolle der Feinerschliessung
- S-Bahn: Der Bau der S-Bahn begann erst 1971. Sie sollte die Region besser an die Innenstadt anbinden. Die S-Bahnen werden mit einem 30-Minuten-Grundtakt betrieben. Dieser wird auf bestimmten Strecken zu Stosszeiten auf 15 Minuten reduziert. Damit hat die S-Bahn eine übergeordnete, regionale Bedeutung.

3.2.6 Toulouse

Ca. 440'000 Menschen leben heute in der französischen Stadt Toulouse (Institut national de la statistique et des études économiques INSEE, 2009). Sie ist die Hauptstadt des Departementes Haute-Garonne, liegt an der Garonne, in einer Senke zwischen den Pyrenäen und dem Massiv Central. Toulouse nimmt in Frankreich, durch das Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt, eine wichtige wirtschaftliche Rolle ein. Auch verschiedene Industriezweige sind hier angesiedelt, unter anderem die Maschinen- Holz, Papier-, Textil- und Lederindustrie (Hinkel, et al., 2004).

Toulouse verfügt über ein U-Bahnnetz mit zwei Linien, welches mit dem VAL-System, nach dem Vorbild in Lille, betrieben wird. Dabei handelt es sich um ein vollautomatisches System, es müssen weder der Führerstand noch die Stationen mit Personal besetzt werden (Hinkel, et al., 2004).

Geschichte der U-Bahn in Toulouse:

Quellen: (Hinkel, et al., 2004) und (Beilin, et al., 1993)

- 1863 Inbetriebnahme der ersten 3 Omnibuslinien
- 1887 Eröffnung der ersten Pferdetramlinien
- 1906 Erste elektrifizierte Tramlinien
- 1926 Einführung der Autobusse
- 1957 Abschaffung und Rückbau der letzten Tramlinien
- In den späten 1960er Jahren verschlechtert sich das Busnetz aufgrund des grossen Wachstums und der Überfüllung der Stadt
- 1976 Wettbewerb für ein modernes Tramsystem
- 1981 Konstrukteure sensibilisieren die Entscheider in Toulouse für das VAL-System in Lille
- 1985 Beschluss ein U-Bahnnetz mit dem VAL-System zu bauen (Zwei Linien, A und B)
- 1989 Beginn der grossen Bauarbeiten der Metro
- 1993 Inbetriebnahme der ersten Strecke der Linie A
- 2001 Baubeginn einer Verlängerung der Linie A und Baubeginn der Linie B
- 2004 Inbetriebnahme der ganzen Linie A

Weitere Verkehrssysteme:

Quellen: (Tisséo, 2013) und (Beilin, et al., 1993)

- Bus: Das Busnetz war ab 1957 das einzige Verkehrsnetz in Toulouse. Durch das starke Wachstum der Stadt konnte es in den 60er Jahren die geforderte Kapazität nicht erbringen. Heute übernimmt das Busnetz alle Funktionen der Verteilung und der Erschliessung. Das Metronetz entlastet die Buslinien und schafft dabei schnellere Verbindungen.
- Tram: Das ursprüngliche Tramnetz wurde 1906 elektrifiziert, verlor aber mit der Einführung der Autobusse seine Bedeutung und wurde bis 1957 komplett rückgebaut.

3.3 Vergleich der Städte

Die Städte kurz portraitiert wurden, folgt in diesem Abschnitt der eigentliche Vergleich. Im Fokus sollen die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede liegen, welche zu den heutigen Verkehrssystemen geführt haben könnten.

Als erstes werden die Verkehrssysteme verglichen, als zweites folgt der Vergleich der Einflussfaktoren auf die Verkehrssysteme.

3.3.1 Vergleich der Verkehrssysteme

Eigenschaften die die Funktion von Verkehrssystemen beschreiben sind die Haltestellen- und die Netzdichte. In Tabelle 3 werden diese für jede Stadt dargestellt.

Die Haltestellendichte beschreibt die Erreichbarkeit der Haltestellen beziehungsweise deren Zugänglichkeit. Ein Wert von 1.0 Haltestellen/km² entspricht ungefähr einer mittleren Wegdistanz von 500 bis 600m zur nächstgelegenen Haltestelle. Liegen die Werte darüber kann von einem dichten Netz gesprochen werden, beispielsweise im Stadtgebiet Zürichs mit 2.08 Hst./km². Die Haltestellendichte der einzelnen Städte weist eine sehr grosse Spannweite von 0.52 bis 2.08 Haltestellen pro km² auf. Diese unterschiedlichen Werte können mit der Funktion der Verkehrssysteme begründet werden. Die U-Bahnsysteme in Toulouse und Nürnberg haben die tiefsten Werte von 0.52 und 0.65 Haltestellen pro km². Die U-Bahnen übernehmen in diesen beiden Städten offenbar eher eine Verbindungs- als eine Sammelfunktion.

Die Netzdichte wird durch Division der Netzlänge mit der Stadtfläche berechnet. Ähnlich wie bei der Haltestellendichte, kann mit ihr eine Aussage über die Funktion der Verkehrssysteme gemacht werden. Die tiefsten Werte sind wiederum bei Toulouse und Nürnberg zu finden, was die oben gemachte Aussage bestätigt.

Wird die Fläche des ersten Agglomerationsgürtels bei Zürich mitberücksichtigt, erhält man für die Haltestellen- und Netzdichte ähnliche Mittelwerte wie in Antwerpen, Hannover oder Stuttgart. Die effektive Verteilung ist jedoch unregelmässig, zumal die Tramlinien in Zürich vom ersten Agglomerationsgürtel nur die beiden Gemeinden Opfikon und Wallisellen erschliessen.

Der durchschnittliche Haltestellenabstand ist mitunter ein Faktor, welcher die Systemgeschwindigkeit von Verkehrssystemen bestimmt. Beim Vergleich unter den Städten fällt auf, dass Zürich den kleinsten Wert besitzt.

Tabelle 3 Vergleich: Haltestellen- und Netzdichte

	Antwerpen	Hannover	Nürnberg	Stuttgart	Toulouse	Zürich	Zürich + 1. Agglo.-gürtel
Verkehrsmittel	Strassenbahn /Pre-Metro	Stadt-bahn	U-Bahn / Strassenbahn	Stadt-bahn	U-Bahn	Tram	Tram
Funktion	Verbinden und Sammeln	Verbinden und Sammeln	Verbinden	Verbinden und Sammeln	Verbinden	Sam-meln	Verbinden und Sam-meln
Stadtfläche [km ²]	175.3 ¹	204 ¹	186.4 ¹	207.4 ¹	118.3 ¹	91.9 ¹	170.4 ¹
Anzahl Haltestellen und Stationen	178 ⁴	199 ⁶	121 ⁷	190 ⁶	61 ⁹	191 ¹¹	191 ¹¹
Haltestellendichte [Hst./km ²]	1.02 ²	0.98 ²	0.65 ²	0.92 ²	0.52 ²	2.08 ²	1.12 ²
Netzlänge [km]	76.06 ⁵	116.6 ⁶	76.0 ⁸	126 ⁶	44.9 ¹⁰	71.9 ¹²	71.9 ¹²
Netzdichte [km/km ²]	0.43 ³	0.57 ³	0.40 ³	0.61 ³	0.38 ³	0.78 ³	0.42 ³
Durchschnittl. Haltestellen-abstand [m]	427 ¹³	586 ¹³	628 ¹³	663 ¹³	736 ¹³	376 ¹³	376 ¹³

¹ Quellen gemäss Tabelle 1² Berechnet aus dem Quotienten der Anzahl Haltestellen und der Stadtfläche³ Berechnet aus dem Quotienten der Netzlänge und der Stadtfläche⁴ (Schwandl, 2012 A)⁵ (Groneck, et al., 2009) Summe aus Pre-Metro und Strassenbahn⁶ (Schwandl, 2007)⁷ (Schwandl, 2012 B) 48 Stationen U-Bahn und (Verkehrsverbund Grossraum Nürnberg, 2013) ca. 73 Stationen Strassenbahn⁸ (Schwandl, 2007) Summe aus 36 km U-Bahn und 40 km Strassenbahn⁹ (Schwandl, 2012 C), Metro Linien A und B (38), Tram T1 (18), (Tisséo, 2013) Linie C (5)¹⁰ (Schwandl, 2012 C), Metro Linien A und B (27.5 km), Tram T1 (10.9 km), (Tisséo, 2013) Linie C (ca. 6.5 km)¹¹ (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B)¹² (Bernet, 2012)¹³ Berechnet aus dem Quotienten der Netzlänge und der Anzahl Haltestellen

3.3.2 Vergleich der Einflussfaktoren auf die Verkehrssysteme

Bevölkerungsentwicklung

Anhand der Demographie kann die Wachstumsentwicklung eines Landes oder einer Stadt abgelesen werden. Unter Wachstum werden in diesem Zusammenhang die flächenmässige Ausbreitung des Siedlungsgebietes sowie die Erhöhung der Bevölkerungsdichte verstanden.

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Einwohnerzahlen der Vergleichsstädte von 1900 bis 2010 in 10 Jahresschritten.

Der internationale Vergleich von Bevölkerungszahlen kann nicht ohne Vorbehalte durchgeführt werden. Zum einen unterscheiden sich die Erhebungsart und zum anderen die Bezugsfläche der Daten.

Bei den meisten Quellen vor dem Jahr 2000 handelt es sich um Volkszählungen, welche durch Bevölkerungsbefragungen erhoben wurden. Ihre Genauigkeit kann daher nicht mit einer „Registererhebung“, wie sie in Zürich seit 2010 durchgeführt wird, mithalten (Stadt Zürich, 2012 C). Um den Entwicklungstrend der Städte vergleichen zu können, ist die vorhandene Genauigkeit der Daten jedoch zweckmässig.

Ein viel grösserer Unterschied besteht in der Definition der Bezugsfläche. In den deutschen und französischen Städten beziehen sich die Zahlen auf die Stadtfläche, welche durch die Stadtgrenze definiert wird. Es handelt sich dabei um eine „politisch-administrative Grenze“ (Haefeli, 2008).

Die Zürcher Einwohnerzahlen hingegen, beziehen sich nicht auf die seinerzeit geltenden Gemeindegrenzen, sondern auf das heutige Stadtgebiet. An diesen Daten kann daher nur die Entwicklung der Siedlungsraumverdichtung abgelesen werden (Stadt Zürich, 2012 C).

Zu den Bevölkerungszahlen in Antwerpen ist anzumerken, dass das heutige Stadtgebiet „Gross-Antwerpen“ erst 1983 durch den Zusammenschluss der sieben umliegenden Gemeinden und der Stadt Antwerpen entstand. Die in Tabelle 4 dargestellten Zahlen von Antwerpen entstanden aus der Summe der Einwohner der einzelnen Gemeinden. Damit beziehen sich diese Daten, wie bei Zürich, auf das heutige Stadtgebiet.

Tabelle 4 Vergleich: Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2010

Jahr	Antwerpen	Hannover	Nürnberg	Stuttgart	Toulouse	Zürich
1900	358'362 ¹	235'666 ³	273'830 ⁵	268'969 ⁶	149'841 ⁸	168'021 ¹⁰
1910	424'301 ¹	302'375 ³	333'142 ³	356'724 ⁶	149'576 ⁸	215'488 ¹⁰
1920	453'674 ¹	400'300 ³	364'093 ³	393'123 ⁷	175'434 ⁸	234'808 ¹⁰
1930	490'695 ¹	445'200 ³	416'700 ³	439'711 ⁷	194'564 ⁸	290'937 ¹⁰
1940	502'265 ¹	474'800 ³	433'381 ⁵	496'490 ⁶	213'220 ⁸	336'395 ¹⁰
1950	494'609 ¹	444'296 ³	379'174 ⁵	497'677 ⁶	268'863 ⁸	390'020 ¹⁰
1960	507'733 ¹	573'282 ³	474'709 ⁵	637'299 ⁶	323'724 ⁸	440'170 ¹⁰
1970	505'661 ¹	523'941 ³	504'140 ⁵	634'202 ⁶	370'796 ⁹	422'640 ¹⁰
1980	469'140 ¹	534'623 ³	484'405 ³	580'648 ⁶	347'995 ⁹	369'522 ¹⁰
1990	470'044 ²	513'010 ³	470'943 ⁵	579'988 ⁶	358'688 ⁹	365'043 ¹⁰
2000	444'987 ²	515'707 ⁴	488'400 ³	583'874 ⁶	390'301 ⁹	363'273 ¹⁰
2010	511'716 ²	522'686 ⁴	510'602 ⁵	606'588 ⁶	440'204 ⁹	372'857 ¹⁰

Allgemeine Anmerkung: Praktisch alle Daten wurden mit Volkszählungen erhoben

¹ Antwerpen wurde 1983 aus sieben Gemeinden zu Gross-Antwerpen fusioniert. Die hier dargestellten Daten sind die Summe aus den Gemeinde-Bevölkerungszahlen vor 1983. Von der kleinen Gemeinde Berendrecht-Zadville-Lillo sind keine Zahlen vorhanden. Ausserdem mussten die Einwohnerzahlen von 1940 aus den Daten der Jahre 1930 und 1950 interpoliert werden. (Wikipedia NL, 2013)

² (Stadt Antwerpen, 2008) und (Stadt Antwerpen, 2013 A)

³ (Wikipedia DE, 2013)

⁴ (Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, 2010)

⁵ (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2013)

⁶ (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2013)

⁷ Die Zahlen von 1920 und 1930 wurden mit Hilfe des Wertes von 1925 (411'322 Einwohner) und 1910 sowie 1940 interpoliert. (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2013)

⁸ (Wikipedia FR, 2013)

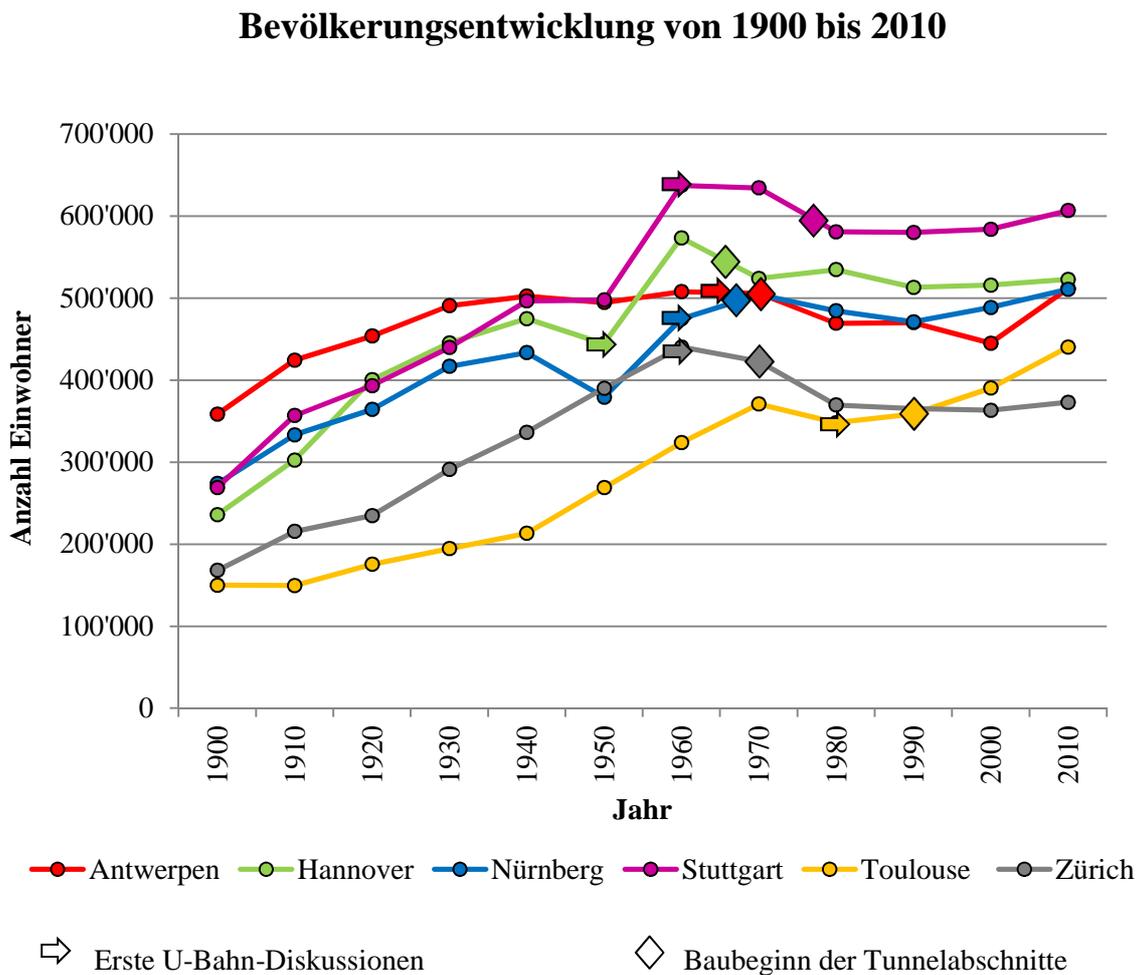
⁹ (Institut national de la statistique et des études économiques INSEE, 2012)

¹⁰ Die Zahlen beziehen sich auf das heutige Stadtgebiet Zürichs (Stadt Zürich, 2012 C)

Die Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2010 aus Tabelle 4 ist nachfolgend in Abbildung 1 grafisch verdeutlicht.

Die Datenpunkte zeigen die absoluten Einwohnerzahlen aus Tabelle 4. Die Bevölkerungszu- bzw. -abnahme entspricht der Steigung der Linien. Ausserdem ist der Zeitpunkt als die Diskussion bezüglich U-Bahn begann und der Baubeginn in der Grafik vermerkt.

Abbildung 1 Vergleich: Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2010



Quellen: siehe Tabelle 4

Zürich, Antwerpen, Hannover, Nürnberg und Stuttgart wiesen in den 1920er Jahren die gleiche Bevölkerungszunahme auf. In Zürich blieb diese bis 1960 unverändert. Bei der Betrachtung der deutschen Städte fällt hingegen der Sprung zwischen 1940 und 1950 auf. Dieser ist auf den zweiten Weltkrieg zurückzuführen, welcher 1945 endete. In den Folgejahren setzte, verbunden mit dem Wiederaufbau der Städte, ein verstärktes Bevölkerungswachstum ein.

Eine ähnliche Bevölkerungszunahme wie in Zürich zwischen 1920 und 1960 wurde in Toulouse erst ab 1940 bis 1970 erreicht. Im Gegensatz zu Toulouse, weist Antwerpen von 1930 bis 1970 keine bedeutende Zu- oder Abnahme auf. Die Einwohnerzahl stagnierte bei einem Wert von ca. 500'000 Einwohnern.

Ab 1960 bzw. 1970 hat sich die Bevölkerungsentwicklung bei allen Städten markant verändert. Die Einwohnerzahl ist rückläufig. Dieser Rückgang ist auf das neue Umweltbewusstsein und den Wunsch, ausserhalb der Stadt zu wohnen, zurück zu führen.

In Toulouse setzte der erneute Bevölkerungsanstieg bereits in den 1980er Jahren ein, in Antwerpen erst ab 2000. Nürnberg und Stuttgart verzeichnen in den letzten zehn Jahren einen moderaten Anstieg. Die Bevölkerungszahlen in Zürich und Hannover wiesen hingegen keine vergleichbaren Veränderungen auf.

Bevölkerungsentwicklung und Verkehrssysteme

Die Planung von U-Bahn- und Stadtbahnssystemen setzte, in den meisten Städten, zeitgleich mit dem Erreichen des Maximums der Bevölkerungszahl, in den 1950er und 1960er Jahren ein. Mit dem Bau und der Inbetriebnahme dieser Systeme wurde die Systemgeschwindigkeit verbessert. Die Stadt wurde „kleiner“. Einwohner zogen aus dem Stadtgebiet in nahegelegene Agglomerationen, da die neuen Verbindungen des öffentlichen Verkehrs kürzere Reisezeiten erlaubten. Zudem muss der Ausbau von Strassenverkehrssystemen berücksichtigt werden, der ebenfalls zu dieser Zeit seinen Einzug hielt.

Werden die Meilensteine der Strassen-, Stadt- und U-Bahnen der Vergleichsstädte in Abbildung 1 betrachtet, sind eben diese Merkmale erkennbar. Der Bau der Tunnelstrecken wurde jedoch erst begonnen, als die Bevölkerung bereits einen Rückgang verzeichnete. Dies könnte mitunter ein Grund sein, weshalb die Tunnelprojekte zunehmend auf „wackligen Beinen“ standen.

Im Gegensatz zu Nürnberg, Zürich und Antwerpen, wo die Diskussion und Entwicklung von U-Bahnprojekten ungefähr gleichzeitig aktuell war, hat sich Hannover bereits in den frühen 1950er Jahren damit beschäftigt. Die längere Planungsphase kam daher, dass sich Hannover zunächst für eine U-Bahn und 1965 für eine Stadtbahn entschied. In Toulouse hingegen erreichte die Bevölkerungszahl erst in den 1970er Jahren eine beachtliche Grösse. In den Folgejahren wurden die Pläne einer U-Bahn entwickelt, um die prekären Verhältnisse im öffentlichen Verkehr zu lösen.

Geografie und Topografie

Die Geografie und Topografie der vorgestellten Städte unterscheiden sich folgendermassen, wie Tabelle 5 zeigt.

Tabelle 5 Vergleich: Geografie und Topografie

	Geografie und Topografie
Antwerpen ¹	80km von offener Nordseeküste entfernt, Meeranschluss über die Schelde, grosse Hafenanlage, keine grossen Höhenunterschiede
Hannover ²	Von Hügelland umgeben, von Leine durchflossen (mehrfach), Maschsee (in der Stadt gelegen), nur geringe Höhendifferenz
Nürnberg ²	Liegt an der Pegnitz, mehrere Seen auf Stadtgebiet, Kreisförmige Ausbreitung des Stadtgebietes, grosse Waldstücke östlich der Stadt, mässige Höhendifferenz
Stuttgart ³	Stadtzentrum liegt in einem Talkessel, sehr grosse Höhenunterschiede, bewegte Landschaft, mit zahlreichen Höhenzügen und Tälern, durchflossen vom Neckar
Toulouse ³	Liegt an der Garonne, in einer Senke zwischen den Pyrenäen und dem Massiv Central, keine grossen Höhenunterschiede
Zürich ⁴	Begrenzung durch den Zürichsee, Stadtzentrum nahe am Zürichsee, Höhenunterschiede durch viele Täler- und Hügelketten

¹ (Groneck, et al., 2009)

² (Schwandl, 2007)

³ (Hinkel, et al., 2004)

⁴ (Stadt Zürich, 2013 D)

Ausserdem wurde die Lage von Gewässern/Wäldern im Stadtgebiet mithilfe von Satellitenbildern ermittelt.

Die Lage der Gewässer bei allen Städten ungefähr vergleichbar. Sie werden entweder mit mehreren Flüssen oder Kanälen durchflossen und/oder liegen an einem grösseren See.

Zürich und Stuttgart weisen die grössten Höhenunterschiede im Stadtgebiet auf. Die übrigen Städte haben eine flache Topografie oder nur mässige Höhendifferenzen.

Geografie, Topografie und Verkehrssysteme

Grosse Höhenunterschiede sind bei der Planung und Umsetzung von schienengebundenen Verkehrsmitteln besonders zu beachten, da das Rollmaterial nur eine gewisse Steigung beziehungsweise ein gewisses Gefälle, ohne bedeutende Geschwindigkeitsreduktionen, überwinden kann. Bei Städten mit vielen Tälern und Hügeln wurde daher meist ein Schienennetz umgesetzt, welches zusätzlich zu den Niveau- mit Tunnelstrecken und/oder in Hochlage ergänzt ist. Dasselbe gilt für Städte mit Flüssen, die entweder über oder unterquert werden müssen.

Werden die Geografie und Topografie von Antwerpen und Stuttgart betrachtet, können die Tunnelstrecken der Stadt- und Strassenbahnen dadurch begründet werden. In Antwerpen wird die schiffbare Schelde mit dem Pre-Metro-Tunnel unterquert, in Stuttgart werden mit der Tunnelführung die grossen Höhendifferenzen im Stadtgebiet überwunden.

In Toulouse kam es zur Entwicklung einer Metro, da das Stadtgebiet zum Zeitpunkt der Planung bereits dicht besiedelt war und die bestehenden Trolleybuslinien die Nachfrage nicht mehr bewältigen konnten. Die Geografie der Stadt liess nur eine unterirdische beziehungsweise stellenweise oberirdische (in Hochlage) Führung zu.

In Hannover und Nürnberg kann nicht direkt vom Gelände auf die Gründe für den U-Bahn- oder Tunnelbau geschlossen werden. In Zürich hingegen würde sich aufgrund der Höhendifferenzen eine Tunnelführung anbieten.

Politik

Die Politischen Systeme unterscheiden sich von der Schweiz in dem Punkt, dass die Schweizer Bevölkerung durch die Grundrechte der Bundesverfassung der schweizerischen Eidgenossenschaft das Recht hat an Wahlen und Abstimmungen teilzunehmen. Ausserdem hat das Schweizer Stimmvolk die Möglichkeit Volksinitiativen und Referenden zu ergreifen.

Grundrechte (Schweizerische Eidgenossenschaft, 1999), Artikel 136 Politische Rechte:

- „(1) Die politischen Rechte in Bundessachen stehen allen Schweizerinnen und Schweizern zu, die das 18. Altersjahr zurückgelegt haben und die nicht wegen Geisteskrankheit oder Geistesschwäche entmündigt sind. Alle haben die gleichen politischen Rechte und Pflichten.
- (2) Sie können an den Nationalratswahlen und an den Abstimmungen des Bundes teilnehmen sowie Volksinitiativen und Referenden in Bundesangelegenheiten ergreifen und unterzeichnen.“

Der Mitbestimmungsgrad der Bevölkerung ist damit bedeutend grösser als in Deutschland, Frankreich und in den Niederlanden. Die entsprechenden Artikel sind nachfolgend wiedergegeben.

Hannover, Nürnberg und Stuttgart sind Städte des deutschen Bundesstaates. Es gilt das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland. Grundgesetz (Bundesrepublik Deutschland, 1949), Artikel 20:

- „(1) Die Bundesrepublik Deutschland ist ein demokratischer und sozialer Bundesstaat.
- (2) Alle Staatsgewalt geht vom Volke aus. Sie wird vom Volke in Wahlen und Abstimmungen und durch besondere Organe der Gesetzgebung, der vollziehenden Gewalt und der Rechtsprechung ausgeübt.
- (3) Die Gesetzgebung ist an die verfassungsmäßige Ordnung, die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung sind an Gesetz und Recht gebunden.
- (4) Gegen jeden, der es unternimmt, diese Ordnung zu beseitigen, haben alle Deutschen das Recht zum Widerstand, wenn andere Abhilfe nicht möglich ist.“

Für Antwerpen gelten die Grundrechte der Niederlande. Fundamental rights (Kingdom of the Netherlands, 2008), Article 2:

- „(1) Dutch nationality shall be regulated by Act of Parliament.
- (2) The admission and expulsion of aliens shall be regulated by Act of Parliament.
- (3) Extradition may take place only pursuant to a treaty. Further regulations concerning extradition shall be laid down by Act of Parliament.
- (4) Everyone shall have the right to leave the country, except in the cases laid down by Act of Parliament.“

Toulouse ist eine Stadt im französischen Staat, es gilt die französische Verfassung. Constitution (Gouvernement de la République française, 1958), Article 3:

- „(1) La souveraineté nationale appartient au peuple qui l'exerce par ses représentants et par la voie du référendum.
- (2) Aucune section du peuple ni aucun individu ne peut s'en attribuer l'exercice.
- (3) Le suffrage peut être direct ou indirect dans les conditions prévues par la Constitution. Il est toujours universel, égal et secret.
- (4) Sont électeurs, dans les conditions déterminées par la loi, tous les nationaux français majeurs des deux sexes, jouissant de leurs droits civils et politiques.“

Politik und Verkehrssysteme

Dieser Unterschied im Mitbestimmungsrecht zeigt sich schliesslich bei der Planung und Umsetzung von grösseren Verkehrsprojekten. Während in Deutschland, Frankreich und der Niederlande die Staatsgewalt über diese Projekte beschloss und das Volk keinen Einwand erheben konnte, wurden in der Schweiz zeitgleich ähnliche Projekte vom Stimmvolk abgelehnt. So kam es, dass in Zürich erstmals 1962 über das Tiefbahnprojekt abgestimmt wurde. Diese Abstimmung wurde mit 61.1% Nein zu 38.9% Ja Stimmen bei einer Beteiligung von 71.9% entschieden (Stadt Zürich, 2013 A), Abstimmungsdatenbank, „Bau einer Tiefbahn (543,7 Mio.)“. Die Initiatoren planten daraufhin in einer Zeit der „Wachstumseuphorie“ den „Ausbau des öffentlichen Verkehrs“ mit einer U-Bahn und einer S-Bahn. Die Abstimmung über deren Bau und Finanzierung fand 1973 zu einem denkbar ungünstigen Zeitpunkt statt. Nur wenige Monate zuvor standen die Aussichten auf ein positives Ergebnis gut. Dann setzte ein „plötzlicher Stimmungsumschwung“ ein (Haefeli, 2008). Hans-Rudolf Galliker beschreibt die vorherrschende Situation folgendermassen:

„Die Verkehrsflut hatte zu einem spürbaren Verlust an Lebensqualität geführt, die Wirtschaftsexpansion verdrängte Wohnraum, die Unwirklichkeit der Städte wurde zu einem beherrschenden Thema in der öffentlichen Diskussion.“ (Galliker, 1997), Seite 225

Die Abstimmung 1973 endete mit 71.1% Nein zu 28.9% Ja Stimmen bei einer Beteiligung von 67.4% (Stadt Zürich, 2013 A), Abstimmungsdatenbank, „Ausbau des öffentlichen Verkehrs (Bau und Finanzierung einer U-Bahn und einer S-Bahn, Gründungsvertrag) (545,5 Mio.)“.

3.4 Fazit

Trotz den Ähnlichkeiten der Städte haben sich ihre Verkehrssysteme unterschiedlich entwickelt. Weder die Bevölkerungsentwicklung noch die geografische Lage konnten als eindeutige Faktoren für die Verkehrssystemwahl ermittelt werden. Es konnte gezeigt werden, dass deren Einfluss auf die Entwicklung eines Verkehrssystems begünstigend wirken kann.

Der massgebendste Unterschied zwischen den Städten ist allerdings die Politik. Aufgrund dessen wurden in Zürich die beiden erwähnten Projekte vom Stimmvolk abgelehnt, während in den anderen Städten die Tunnelbauten nur von der Regierung beschlossen werden mussten. So kam es, dass Zürich heute keine U-Bahn besitzt und vor der Aufgabe steht, mit dem bestehenden Tramnetz in die Zukunft zu steuern.

4 Ausgangslage, Analyse der Ist-Situation

4.1 Projektabgrenzung

Die Projektabgrenzung umfasst die drei Dimensionen Raum, Zeit und Inhalt. In den folgenden Abschnitten werden diese für das Projekt „eine U-Bahn für Zürich?“ definiert.

4.1.1 Räumliche Abgrenzung

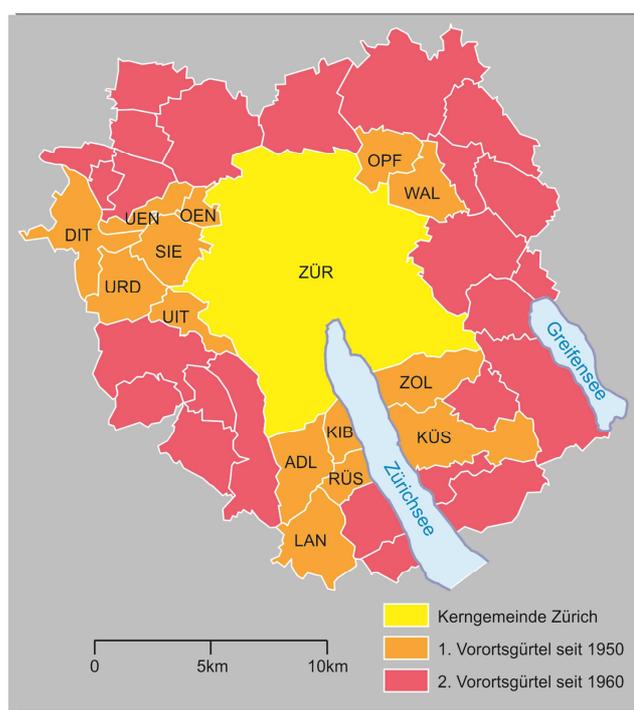
Die räumliche Projektabgrenzung erlaubt die Definition des Planungsraumes. Dieser wird aufgeteilt in den engeren und den weiteren Bearbeitungs- sowie den Beurteilungsraum (Weidmann, 2011 A).

Zum Bearbeitungsraum gehören gemäss Aufgabenstellung die Gemeinden der Stadt Zürich und des ersten Agglomerationsgürtels. Dabei handelt es sich um die folgenden Gemeinden, welche in Abbildung 2 ersichtlich sind:

Zürich	Opfikon
Adliswil	Rüschlikon
Dietikon	Schlieren
Kilchberg	Uitikon
Küsnacht	Unterengstringen
Langnau am Albis	Urdorf
Oberengstringen	Wallisellen
	Zollikon

Der engere Bearbeitungsraum befasst sich mit den Linien des Tramnetzes und deren Funktion sowie ergänzende neue Linien. Im weiteren Bearbeitungsraum werden zusätzlich das S-Bahn- und das Busnetz mitberücksichtigt.

Abbildung 2 Stadt Zürich mit 1. und 2. Vorortsgürtel



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Der Beurteilungsraum beinhaltet zusätzlich zum Bearbeitungsraum weitere angrenzende Agglomerationen. Neben den regionalen Verkehrsmitteln wird ausserdem der Fernverkehr mitberücksichtigt.

4.1.2 Zeitliche Abgrenzung

Die Festlegung von zeitlichen Planungshorizonten hängt von den erforderlichen Anpassungen ab. Die Dauer der Fahrzeugbeschaffung ist beispielsweise bedeutend kleiner als jene des Infrastruktureneubaus (Weidmann, 2011 A):

- Fahrzeugbeschaffung vorhandener Typen: 3-4 Jahre
- Fahrzeugbeschaffung Neuentwicklung: 6-8 Jahre
- Infrastrukturerstellung Neubaustrecke: 20 Jahre
- Grosse Knotenumbauten: 8-12 Jahre
- Einfacher Knotenumbau, Doppelspurausbau: 4-5 Jahre

Der Planungszeitraum für grosse Umstrukturierungen und Infrastrukturprojekte wird auf 20 Jahre festgelegt, also bis ins Jahr 2035.

Die Planung von U-Bahnstrecken mit neuen Tunneln und Strecken in Hochlage sowie zugehörigen Bahnhöfen und Umsteigeknoten wird bedeutend mehr Zeit in Anspruch nehmen, daher wird für diese Projekte ein Planungshorizont von ca. 45 Jahren festgelegt, also bis 2060.

4.1.3 Inhaltliche Abgrenzung

Das zu untersuchende und veränderbare Objekt im Bearbeitungsraum ist das Tram. Die Tramlinien der VBZ können und sollen effizienter und schneller werden. Die horizontale und vertikale Linienführung kann beliebig angepasst werden, so dass die bestehenden Mängel behoben werden können. Zusätzlich zum bestehenden System können neue Linien entwickelt werden, deren Funktion zwischen Tram und S-Bahn liegt.

Die S-Bahnverbindungen und der Fernverkehr sollen als Randbedingungen angesehen werden.

Das Busnetz hingegen kann in geeigneter Masse angepasst werden. Durch die vorgenommenen Veränderungen sollen jedoch keine zusätzlichen Mängel entstehen.

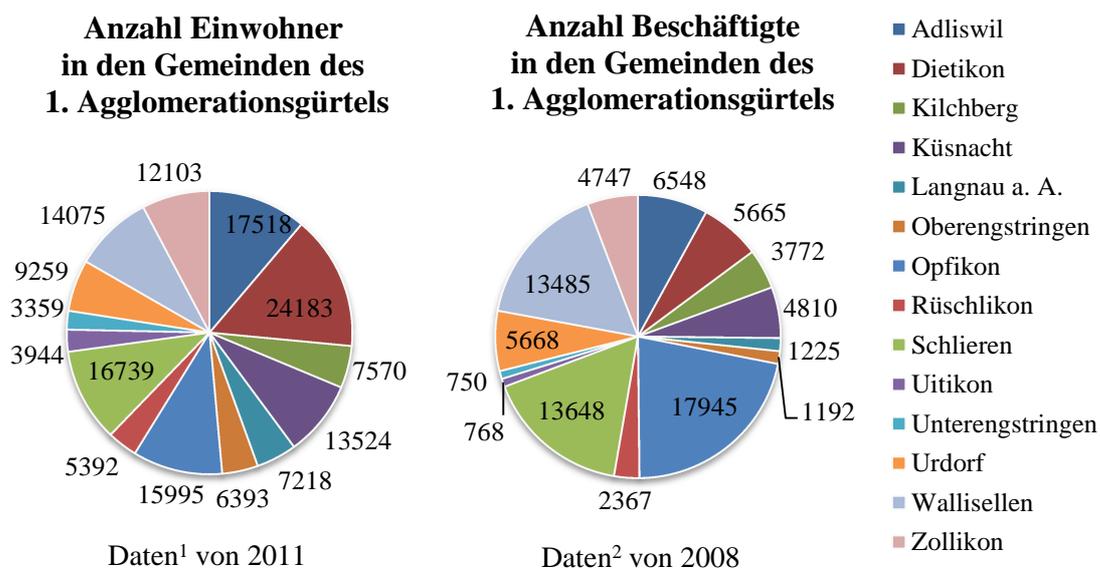
4.2 Situationsanalyse

4.2.1 Raumnutzungsstruktur

Bei der Analyse der Raumnutzung sind Informationen aus Bevölkerungszahlen, Arbeitsplätzen und deren Dichten von grossem Nutzen. Nachfolgend wird die Arbeitsplatz- und Einwohnerdichte in den betreffenden Gemeinden des Bearbeitungsraumes untersucht. Anschliessend folgen eine Analyse der Wohnbevölkerungsveränderungen sowie die Ermittlung einiger wichtiger Nutzungsschwerpunkte.

Abbildung 3 zeigt die absoluten Einwohner- und Arbeitsplatzzahlen in den Gemeinden des Bearbeitungsraumes. Die Gemeinde Zürich wird aufgrund der viel grösseren Zahlen nicht dargestellt. Zum Vergleich, in Zürich lebten 2011 376'990 Einwohner (Stadt Zürich, 2012 D) und im Jahr 2008 arbeiteten 361'805 Beschäftigte (Kanton Zürich, 2013) in der Stadt.

Abbildung 3 Einwohner und Beschäftigte in den Zürcher Gemeinden des 1. Agglomerationsgürtels



¹ (Stadt Zürich, 2012 D) Einwohnerzahlen von 2011 pro Gemeinde

² (Kanton Zürich, 2013) Gemeindeportrait, total Anzahl Beschäftigte im 2. und 3. Sektor

Aus Abbildung 3 können die folgenden Wohn- und Arbeitsgemeinden eruiert werden:

Wohnen:

- Dietikon, 24'183 Einwohner
- Adliswil, 17'518 Einwohner
- Schlieren, 16'739 Einwohner
- Opfikon, 15'995 Einwohner
- Wallisellen, 14'075 Einwohner

Arbeiten:

- Opfikon, 17'945 Beschäftigte
- Schlieren, 13'648 Beschäftigte
- Wallisellen 13'485 Beschäftigte

Abbildung 4 zeigt die Arbeitsplatz- und Einwohnerdichte der Gemeinden im Bearbeitungsraum. Betreffend Arbeits- und Wohnschwerpunkten sind diese Daten aussagekräftiger als die absoluten Werte.

Die Gemeinden mit den höchsten Dichten sind gemäss Abbildung 4:

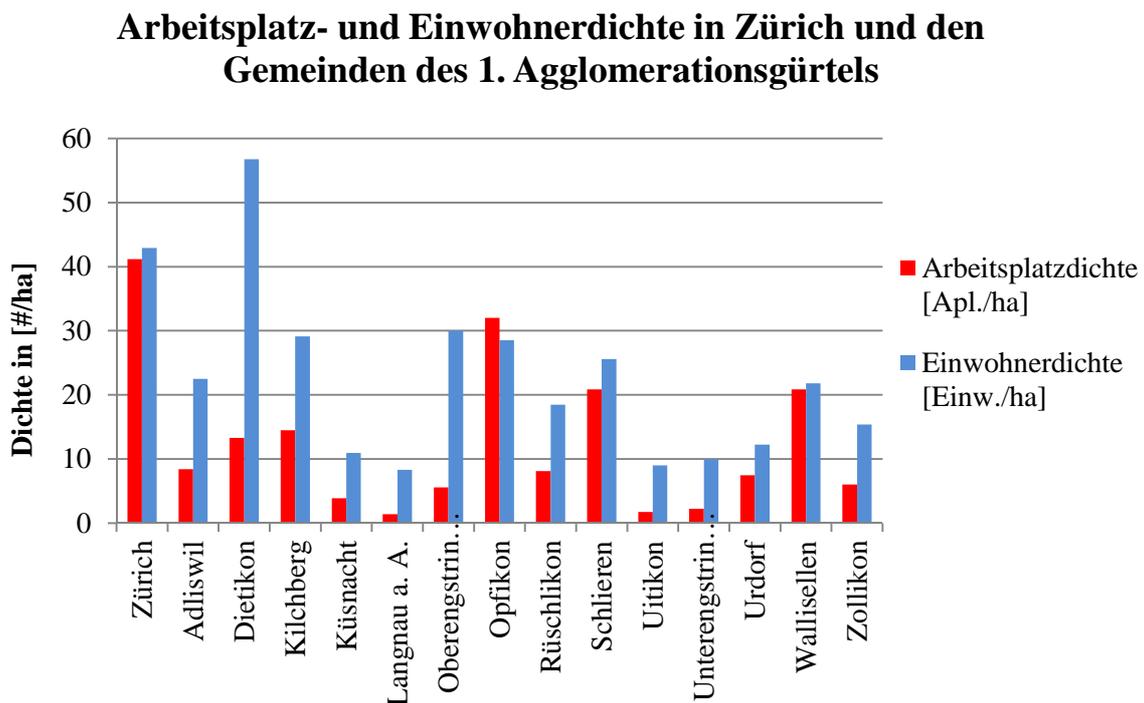
Wohnen: mehr als 20 Einw./ha

- Zürich
- Dietikon
- Kilchberg
- Oberengstringen
- Opfikon
- Schlieren
- Adliswil
- Wallisellen

Arbeiten: mehr als 20 Arbpl./ha

- Zürich
- Opfikon
- Schlieren
- Wallisellen

Abbildung 4 Arbeitsplatz- und Einwohnerdichte in Zürich und den Gemeinden des 1. Agglomerationsgürtels



Datenquellen:

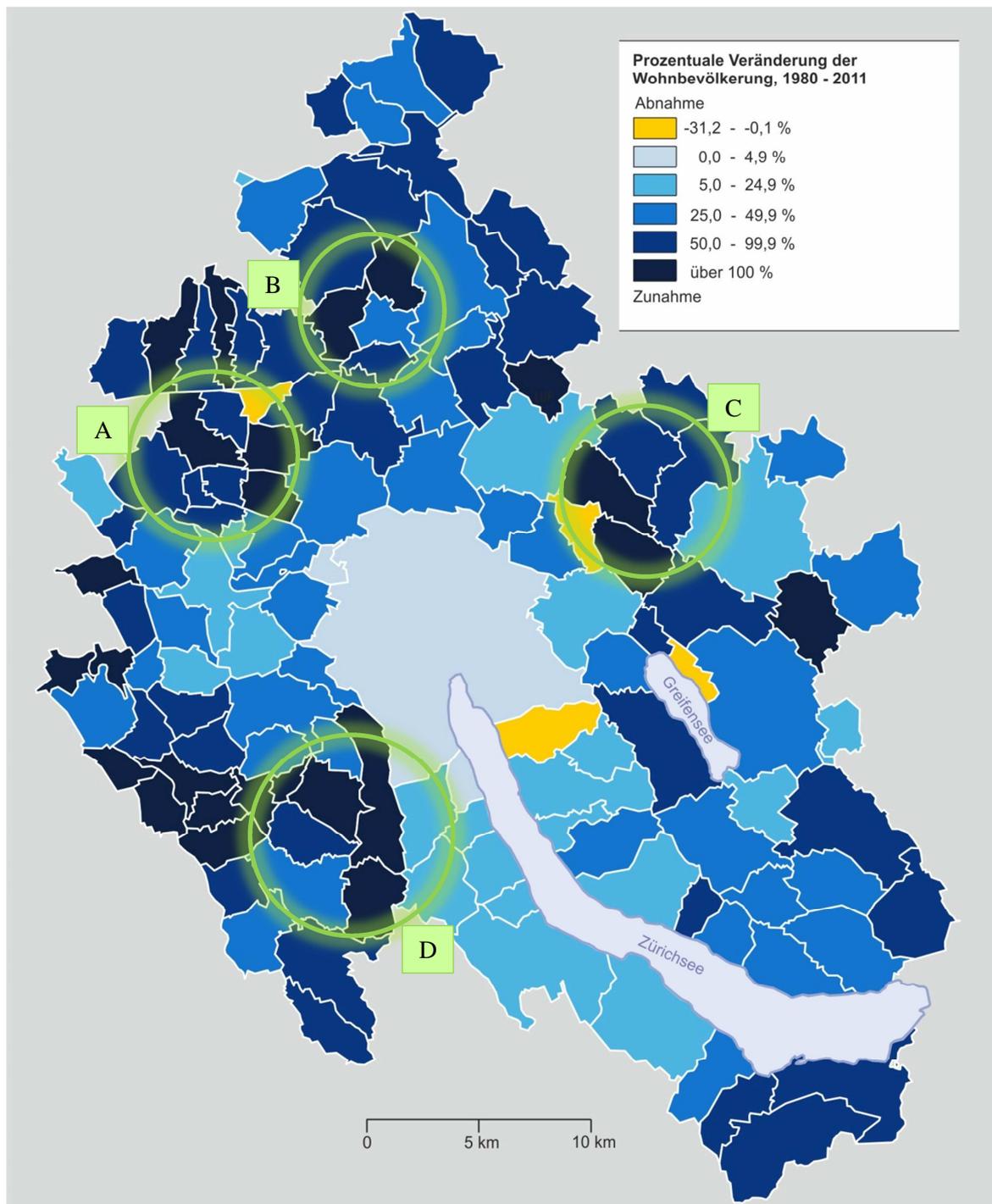
(Stadt Zürich, 2012 D) Einwohnerzahlen von 2011 pro Gemeinde

(Kanton Zürich, 2013) Gemeindeportrait, total Anzahl Beschäftigte im 2. und 3. Sektor

Und (Kanton Zürich, 2013) Gemeindeportrait, Flächen der Gemeinde

Abbildung 5 zeigt die prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung in den letzten 30 Jahren nach Gemeinden.

Abbildung 5 Prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung in den Agglomerationsgemeinden um Zürich, von 1980 bis 2011



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Sehr grosse Bevölkerungszunahmen wurden im Westen, Norden, Osten und im Süd-Westen des Kantons Zürich verzeichnet. Tabelle 6 zeigt die Zahlen der betreffenden Gemeinden. Die Tabelle enthält ausschliesslich die Gemeinden mit einer Zunahme von mehr als 100%. Die direkt angrenzenden Gemeinden weisen grösstenteils eine Zunahme von 50% bis 100% auf und bilden damit grössere Gebiete mit verstärkter Bevölkerungszunahme. Daher sollen die definierten Bereiche A, B, C und D im Beobachtungsraum als Entwicklungszonen berücksichtigt werden.

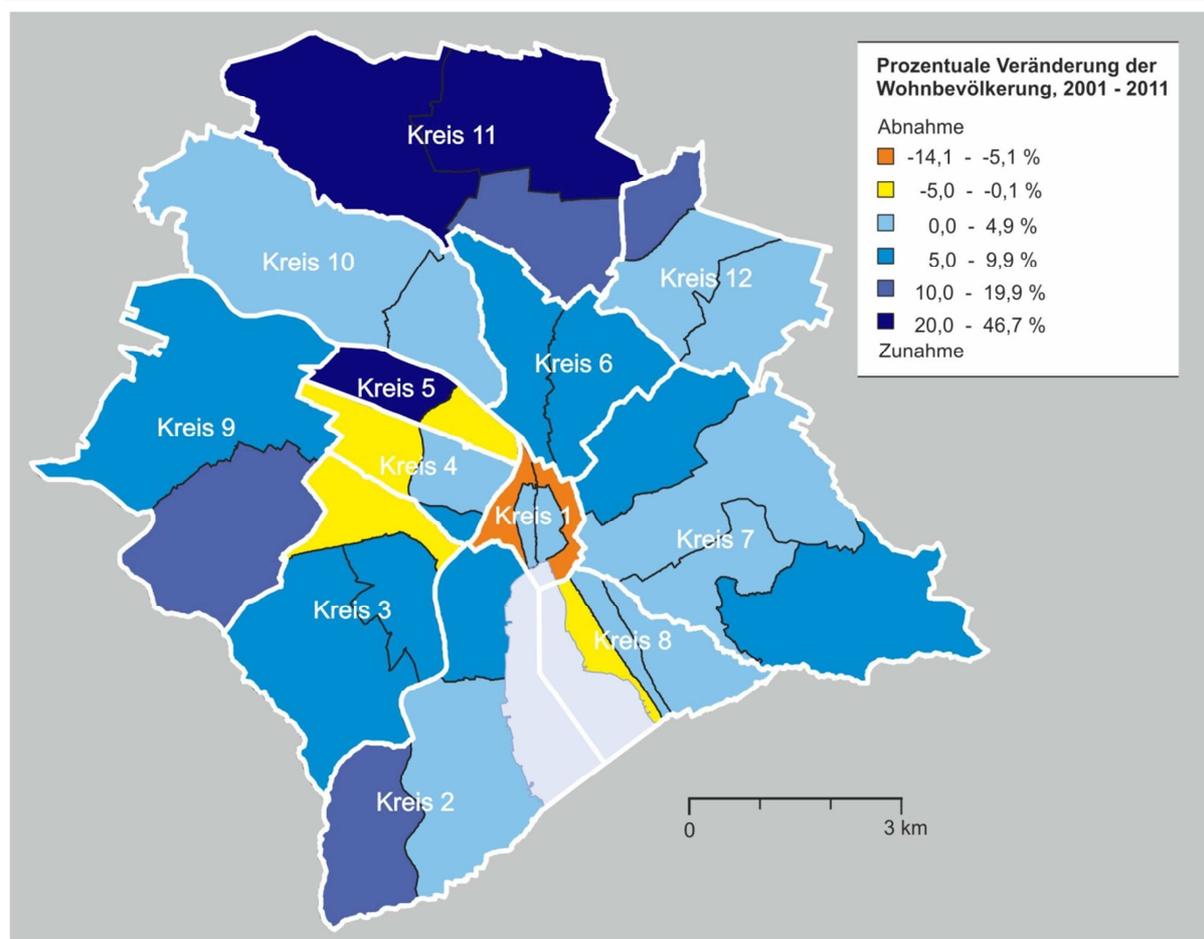
Tabelle 6 Gemeinden mit den grössten Bevölkerungszunahmen

Bereiche in Abbildung 5	Gemeinde	Prozentuale Veränderung	Anzahl Einwohner 2011
A – Zürich West	Otelfingen	+ 110%	2'616
	Buchs	+ 210%	5'695
	Dällikon	+ 193%	7'105
B – Zürich Nord	Neerach	+ 159%	3'020
	Hochfelden	+ 117%	2'010
C – Zürich Ost	Bassersdorf	+ 109%	11'170
	Wangen-Brüttisellen	+ 118%	7'582
D – Zürich Süd-West	Bonstetten	+ 144%	5'173
	Stallikon	+ 122%	3'275
	Aeugst a. A.	+ 120%	1'910

Datenquelle: (Stadt Zürich, 2012 C)

Das Tramnetz erschliesst vor allem das Stadtgebiet Zürichs, weshalb besonders hier Entwicklungsgebiete zu eruieren sind. Abbildung 6 zeigt die prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung in den einzelnen Stadtquartieren von 2001 bis 2011. Gebiete mit grossen Bevölkerungszunahmen sind demnach der Kreis 5, also das Gebiet Zürich West sowie der Kreis 11, Zürich Nord. Im Stadtzentrum hingegen wurde ein Bevölkerungsrückgang verzeichnet.

Abbildung 6 Prozentuale Veränderung der Wohnbevölkerung nach Stadtquartier, von 2001 bis 2011



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 D), überarbeitet

Die Siedlungsstruktur der Stadt Zürich lässt sich mit den Siedlungsstrukturtypen gemäss (Weidmann, 2011 A), Kapitel 3, Seite 36/143 wie folgt beschreiben:

Die Siedlungsstruktur der Stadt Zürich und ihrer Agglomerationen ist vom Typ S2, einem „sternförmigen Siedlungsraum“. Die einzelnen Arme und Hauptverkehrsadern sind vom Typ S3, mit einer „achsenförmigen“ und vom Typ S4, mit einer „verzweigten Ausprägung“.

Nutzungsschwerpunkte im Stadtgebiet können mit Hilfe des Zonenplans der Stadt Zürich ermittelt werden. Der Zonenplan ist dem Anhang A2 Zonenplan Stadt Zürich zu entnehmen. Die folgenden Nutzungsschwerpunkte wurden erfasst:

- Industrie- und Gewerbezentren sowie Dienstleistungsschwerpunkte:
 - Kreis 1 (Gewerbe und DL)
 - Laubegg
 - Binz (Wiedikon)
 - Kreis 4 und 5 (entlang der SBB-Gleisanlagen, teilweise umgenutzt)
 - Altstetten West und Süd
 - Oerlikon West
- Wohnzentren: Gebiete mit besonders hoher Wohndichte
 - Kreis 1 (Kernzone)
 - Kreis 4 und 5 (Quartiererhaltungszone/Zentrumszone bis 6 Geschosse)
 - Oerlikon
 - Altstetten
- Die wichtigsten Einkaufszentren und Verbrauchermärkte:
 - Letzipark
 - Glatt
 - Sihlcity
 - Bahnhofstrasse und Shopville Bahnhof Zürich
 - Oerlikon
 - Lindenplatz, Altstetten
- Studienzentren:
 - ETH Zentrum/Universität
 - ETH Hönggerberg
 - Universität Irchel
 - Kantonsschulen
- Spitäler:
 - Universitätsspital
 - Klinik Hirslanden
 - Stadtspital Triemli
 - Stadtspital Waid
- Sportanlagen:
 - Hallenstadion
 - Letzigrund Stadion
 - Sportanlage Sihlhölzli
 - Saalsporthalle
 - Dolder Kunsteisbahn/Golfclub
 - Hochschulsportanlage Funtern
 - Sportanlage Heerenschürli

4.2.2 Verkehrsmittel

Im öffentlichen Verkehr in Zürich sind unterschiedliche Verkehrsmittel im Einsatz. Sie unterscheiden sich vor allem im Hinblick auf ihre Funktion. Tabelle 7 zeigt die öffentlichen Verkehrsmittel in Zürich, ihre Produktstufe sowie ihre Funktion.

Tabelle 7 öffentliche Verkehrsmittel in Zürich, Produktstufen

Planungsstufen bei Stadtverkehrskonzepten und Produktionsstufen			Arbeitsbereich	Ausrichtung auf Verbindung verkehrlicher Potentiale	Verkehrsmittel
Durchleiten	A, B, C	C2	< 30 km	Agglomerationen von Grossstädten mit Zentrum	S-Bahn
Verbinden	D1	D1	< 15 km	Agglomerationen von Grossstädten mit Zentrum	U-Bahn ¹ Stadtbahn
Sammeln	D2	D2	< 10 km	Quartiere einer Grossstadt mit Stadtzentrum	Tram Bus
Erschliessen	D3, D4	D3	< 5 km	Innere Erschliessung grosser Quartiere	Tram Bus

Quelle: (Weidmann, 2011 A) Tabelle 3, Kapitel 3, Seite 11/143 und Tabelle 5, Kapitel 3, Seite 13/143

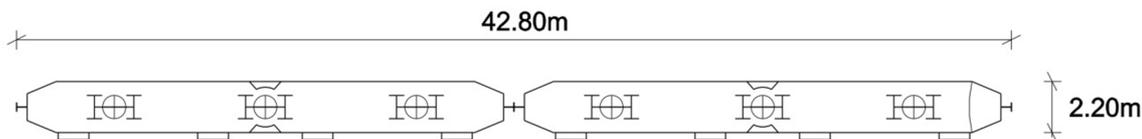
¹ Zürich besitzt keine U-Bahn, ihre Planung kann mit einer Variante berücksichtigt werden.

Im Tramnetz verkehren aktuell die Typen des Tram 2000 und das Cobra Tram. Nachfolgend sind die technischen Eigenschaften beider Fahrzeuge zusammengestellt. Tabelle 8 zeigt das Tram 2000, welches in drei Serien hergestellt wurde (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 A):

Tabelle 8 Tram 2000, Fahrzeugeigenschaften

	1. Serie: Motorwagen Be 4/6 "Tram 2000"	Motorisierter Anhänger Be 4/6 "Tram 2000"
Baujahr	1976 bis 1978	1978
Stückzahl Motorwagen	45	15
Abmessungen Motorwagen	Länge = 21.4 m / Breite = 2.2 m / Höhe = 3.6 m	Länge = 21.4 m / Breite = 2.2 m / Höhe = 3.6 m
Motor	2 Motoren à 139 kW / 188 PS	2 Motoren à 139 kW / 188 PS
Plätze Motorwagen	Total 104 (50 Sitzplätze, 54 Stehplätze)	Total 107 (50 Sitzplätze, 57 Stehplätze)
Leergewicht Motorwagen	26.5 Tonnen	26 Tonnen

Be 4/6 + Be 4/6 Tram 2000 - Doppeltraktion

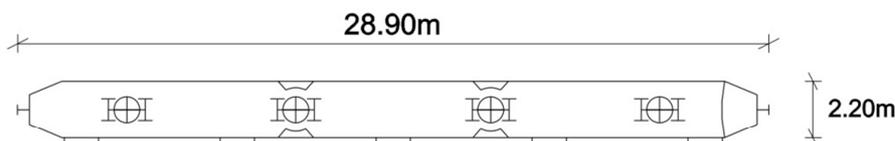


Bildquelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

	2. Serie Motorwagen Be 4/6 "Tram 2000"	Motorisierter Anhänger Be 2/4 "Pony"
Baujahr	1985 bis 1987	1985 bis 1987
Stückzahl Motorwagen	52	20
Abmessungen Motorwagen	Länge = 21.4 m / Breite = 2.2 m / Höhe= 3.6 m	Länge = 15.4 m / Breite = 2.2 m / Höhe= 3.6 m
Motor	2 Motoren à 154 kW / 210 PS	1 Motor à 154 kW / 210 PS
Plätze Motorwagen	Total 104 (50 Sitzplätze, 54 Stehplätze)	Total 76 (35 Sitzplätze, 41Stehplätze)
Leergewicht Motorwagen	26.5 Tonnen	18.5 Tonnen

	3. Serie Motorwagen Be 4/6 "Tram 2000" = Sänfte Be 4/8	Motorisierter Anhänger Be 2/4 "Pony"
Baujahr	1992 bis 1993; Umbau zur Sänfte 1999 - 2001 / 2004 - 2005	1992 bis 1993
Stückzahl Motorwagen	23	15
Abmessungen Motorwagen	Länge = 28 m / Breite = 2.2 m / Höhe= 3.6 m	Länge = 15,4 m / Breite = 2.20 m / Höhe= 3.60 m
Motor	2 Motoren à 157 kW / 213 PS	1 Motor à 157 kW / 213 PS
Plätze Motorwagen	Total 143 (68 Sitzplätze, 75 Stehplätze)	Total 76 (35 Sitzplätze, 41Stehplätze)
Leergewicht Motorwagen	31 Tonnen	16.5 Tonnen

Be 4/8 Sänfte



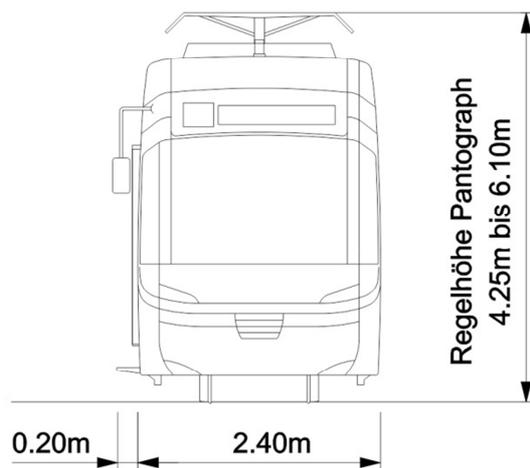
Bildquelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 A)

Die technischen Daten des Cobra Trams sind Tabelle 9 entnehmen.

Tabelle 9 Cobra Tram, Fahrzeugeigenschaften

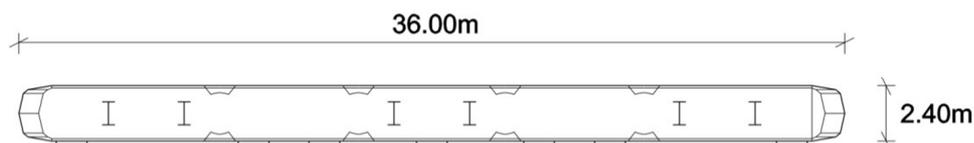
Typ	Be 5/6
-----	--------



Frontansicht des Cobra Tram

Bildquelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

Be 5/6 Cobra



Grundriss des Cobra Tram

Bildquelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

Stückzahl	88
Gesamtlänge	36 m
Breite	2.4 m
Höhe	3.6 m
Gewicht	39.2 Tonnen
Anzahl Sitzplätze	90
Anzahl Stehplätze	113
Geschwindigkeit max.	70 km/h
Motorenleistung max.	125 kW

Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 A)

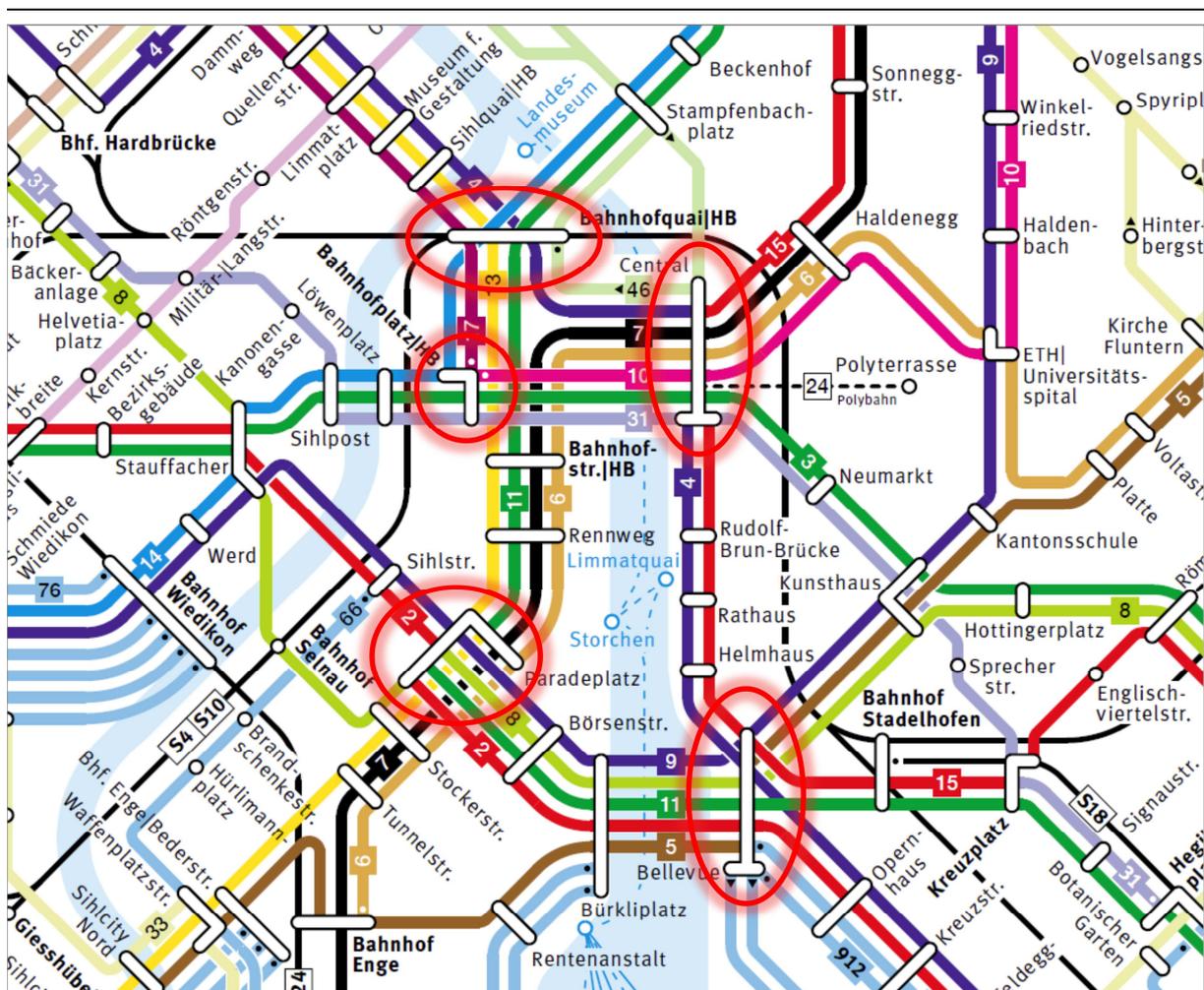
4.2.3 Aktuelles Verkehrsangebot – Bestehendes Tramnetz 2013

Das Zürcher Tramnetz hat heute 15 Linien, welche insgesamt 196 Haltestellen bedienen (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B).

Der aktuelle Liniennetzplan des Zürcher Stadtnetzes ist dem Anhang A3 Liniennetzplan der Stadt Zürich zu entnehmen.

Die wichtigsten Tramumsteigepunkte befinden sich im Stadtzentrum. Gemäss Abbildung 7 sind dies die Haltestellen Hauptbahnhof, Central, Bellevue und Paradeplatz. Die meisten Tramlinien sind mit mindestens zwei der vier genannten Stationen verbunden. Die Umsteigevorgänge von einem Quartier zum anderen lassen sich damit auf einen Umstieg reduzieren (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C).

Abbildung 7 ZVV Liniennetzplan im Zürcher Innenstadtbereich



Bildquelle: (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B)

Nicht nur die reinen Tramhaltestellen spielen für den Nahverkehr in Zürich eine Rolle, sondern auch die Umsteigeknoten, welche die S-Bahn mit dem Tram- und Busnetz verbinden. Im Innenstadtbereich sind die S-Bahnbahnhöfe Hauptbahnhof, Wiedikon, Enge und Stadelhofen mit jeweils zwei und mehr Tramlinien verbunden. Die grösste Bedeutung hat der Hauptbahnhof, da das Umsteigen auf den Fernverkehr nur hier möglich ist. Diese S-Bahnbahnhöfe liegen relativ nahe beieinander. Die Luftdistanzen und Fahrzeiten zwischen den Stationen sind der Tabelle 10 zu entnehmen.

Obwohl die Luftdistanz (grau) unter allen fünf Bahnhöfen zwischen 1.3 und 3,2 km liegt, unterscheiden sich die Fahrzeiten enorm. Gründe dafür sind einerseits die Linienführung und andererseits die Verkehrsmittelwahl. In Tabelle 10 wird die Fahrzeit mit der S-Bahn (links) der Fahrzeit mit Tram und Bus (rechts) gegenübergestellt.

Tabelle 10 Luftdistanz und Fahrzeit unter den S-Bahnbahnhöfen der Innenstadt

	Hauptbahnhof	Stadelhofen	Enge	Wiedikon	Hardbrücke
Hauptbahnhof		1391 ¹	1705 ¹	1481 ¹	1929 ¹
		3 ² 9 ³	5 ² 7 ³	5 ² 8 ³	2 ² 11 ³
Stadelhofen	1391 ¹		1397 ¹	2033 ¹	3145 ¹
	3 ² 9 ³		16 ² 8 ³	15 ² 14 ³	6 ² 23 ³
Enge	1705 ¹	1397 ¹		1049 ¹	2565 ¹
	5 ² 7 ³	16 ² 8 ³		2 ² 13 ³	15 ² 18 ³
Wiedikon	1481 ¹	2033 ¹	1049 ¹		1547 ¹
	5 ² 8 ³	15 ² 14 ³	2 ² 13 ³		14 ² 12 ³
Hardbrücke	1929 ¹	3145 ¹	2565 ¹	1547 ¹	
	2 ² 11 ³	6 ² 23 ³	15 ² 18 ³	14 ² 12 ³	

Legende:

Luftdistanz [m]		
FZ mit S-Bahn	FZ mit Tram + Bus	FZ: Fahrzeit in Minuten Längere Fahrzeit

¹ (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 C) am Montag 25.3.2013, kürzeste Fahrt zwischen 8:00 und 9:00 Uhr, nur mit der S-Bahn

³ (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 C) am Montag 25.3.2013, kürzeste Fahrt zwischen 8:00 und 9:00 Uhr, nur mit Tram und Bus

Die Fahrzeit mit der S-Bahn liegt bei allen Verbindungen zwischen 2 und 16 Minuten, die Fahrt mit Tram und Bus hingegen dauert je nach Verbindung zwischen 7 und 23 Minuten. Beim Vergleich der Fahrzeiten fällt auf, dass alle Verbindungen, bis auf Enge-Stadelhofen, Wiedikon-Stadelhofen und Hardbrücke-Wiedikon, mit der S-Bahn schneller erreicht werden können. Dies ist mitunter ein Grund dafür, dass das S-Bahnnetz im Innenstadtbereich und auch bis Oerlikon und Altstetten sehr stark ausgelastet ist.

Tabelle 11 zeigt eine Zusammenstellung der Tramlinien in Zürich mit den Fahrzeiten, den Streckenlängen und Anzahl Haltestellen sowie den daraus berechneten Werten der durchschnittlichen Reisegeschwindigkeit und dem mittleren Haltestellenabstand.

Tabelle 11 Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Fahrzeit ¹ [min]	Streckenlänge ² [km]	Durchschn. Reisegeschw. ³ [km/h]	Anzahl Haltestellen ⁴	Mittl. Haltestellenabstand ⁵ [m]
2		Farbhof	Bhf Tiefenbrunnen	34	8.2	14.5	25	342
3		Albisrieden	Klusplatz	31	7.6	14.7	21	380
4		Altstetten Bhf Nord	Bhf Tiefenbrunnen	33.5	8.5	15.2	26	340
5		Kirche Fluntern	Laubegg	22.5	5.0	13.3	13	417
6		Zoo	Bahnhof Enge	25.5	5.7	13.4	16	380
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	42.5	12.6	17.8	31	420
8		Hardplatz	Klusplatz	24	5.6	14.0	16	373
9		Hirzenbach	Triemli	45.5	12.9	17.0	34	391
10		Fracht, Flughafen ZH	Bahnhofplatz HB	38.5	11.9	18.5	27	458
11		Auzelg	Rehalp	48.5	12.4	15.3	34	376
12		Fracht, Flughafen ZH	Bahnhof Stettbach	26.5	11.5	26.0	18	676
13		Frankental	Albisgütli	40.5	10.5	15.6	30	362
14		Seebach	Triemli	39.5	9.6	14.6	27	369
15		Bucheggplatz	Klusplatz	23	5.7	14.9	18	335
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	21.5	5.9	16.5	17	369

¹ (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B) Fahrzeit Mo-Fr um 8.00 Uhr, Mittel aus beiden Richtungen

² Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

³ Berechnet aus dem Quotienten der Streckenlänge und der Fahrzeit

⁴ (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B)

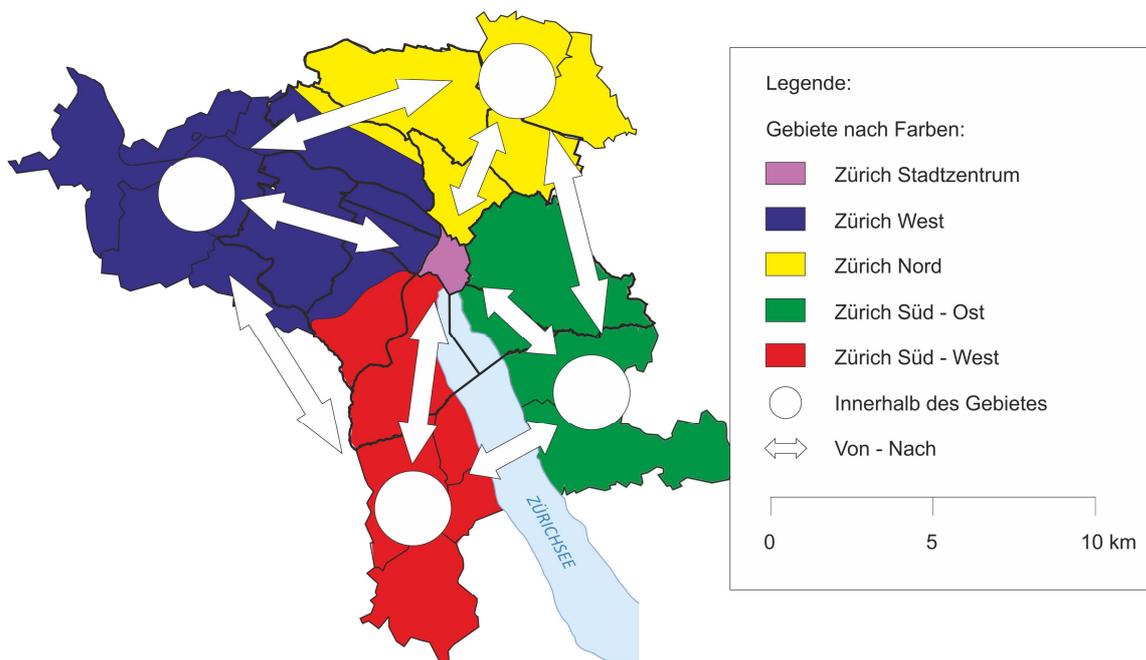
⁵ Berechnet aus dem Quotienten der Streckenlänge und der Anzahl Haltestellen $\frac{L}{N-1} = d_{\text{Haltestelle}}$

Gemäss Tabelle 12 in Kapitel 4.4 auf Seite 59 liegt die optimale Beförderungsgeschwindigkeit zwischen 15 und 20 km/h. Diese Werte sollen bei einer Verbesserung des Tramnetzes angestrebt werden. Besonders die Linien 2, 3, 5, 6, 8, 14 und 15 sind mit ihrer Reisegeschwindigkeit gemäss Tabelle 11 von unter 15 km/h zu optimieren. Die Linien 4, 11, 13 und 17 haben Beförderungsgeschwindigkeiten zwischen 15 und 17 km/h. Eine Verbesserung dieser Strecken ist ebenfalls zu erwägen.

Zur weiteren Analyse wurde das Verkehrsnetz in Zürich auf seine Systemgeschwindigkeit untersucht. Im Beobachtungsraum wurden 30 relevante Knoten gewählt und in fünf Gebiete aufgeteilt. Für jede Direktverbindung wurden die Reisezeit und die Luftdistanz ermittelt. Der Quotient aus Luftdistanz und Reisezeit ergibt eine Geschwindigkeit, welche im Folgenden als Systemgeschwindigkeit bezeichnet wird.

In Abbildung 8 sind die fünf Gebiete farblich hervorgehoben. Dazu gehören das Stadtzentrum, Zürich West, Zürich Nord, Zürich Süd-Ost und Zürich Süd-West. Die Pfeile stellen die Summe aller Direktverbindungen der Knoten zweier Gebiete dar. Die Kreise sind die Direktverbindungen unter allen Knoten innerhalb der Gebiete.

Abbildung 8 Stadtbereiche, Übersicht



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

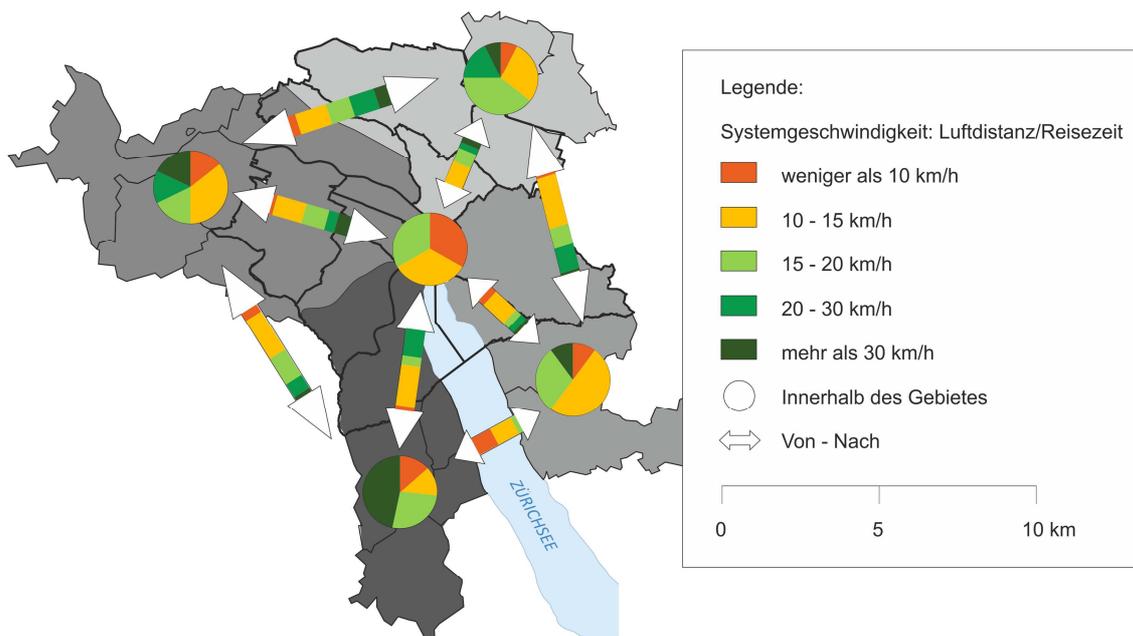
Welche Knoten für die Auswertung verwendet wurden, die Tabelle der Reisezeiten und die Tabelle der Luftdistanzen sowie die Berechnungen der Systemgeschwindigkeiten in Tabellenform sind dem Anhang A4: Ermittlung der Systemgeschwindigkeiten zu entnehmen.

Für die Auswertung der Daten wurde eine Skala gewählt. Unterschieden werden die folgenden Systemgeschwindigkeiten:

- unter 10 km/h sehr schlechte Systemgeschwindigkeit
muss, wenn möglich, verbessert werden
- zwischen 10-15 km/h schlechte bis mässige Systemgeschwindigkeit
soll je nach Ursache verbessert werden
- zwischen 15-20 km/h mässige bis gute Systemgeschwindigkeit (Tramstrecken)
- zwischen 20-30 km/h gute Systemgeschwindigkeit
(Strecken mit Tram- und S-Bahnabschnitten)
- über 30 km/h sehr gute Systemgeschwindigkeit (S-Bahnstrecken)

Die Ergebnisse der Systemgeschwindigkeits-Matrix sind in Abbildung 9 dargestellt. Gezeigt wird für jede Verbindung und jedes Gebiet die prozentuale Verteilung der Verbindungen auf die beschriebenen Kategorien.

Abbildung 9 Systemgeschwindigkeit unter den Stadtgebieten



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

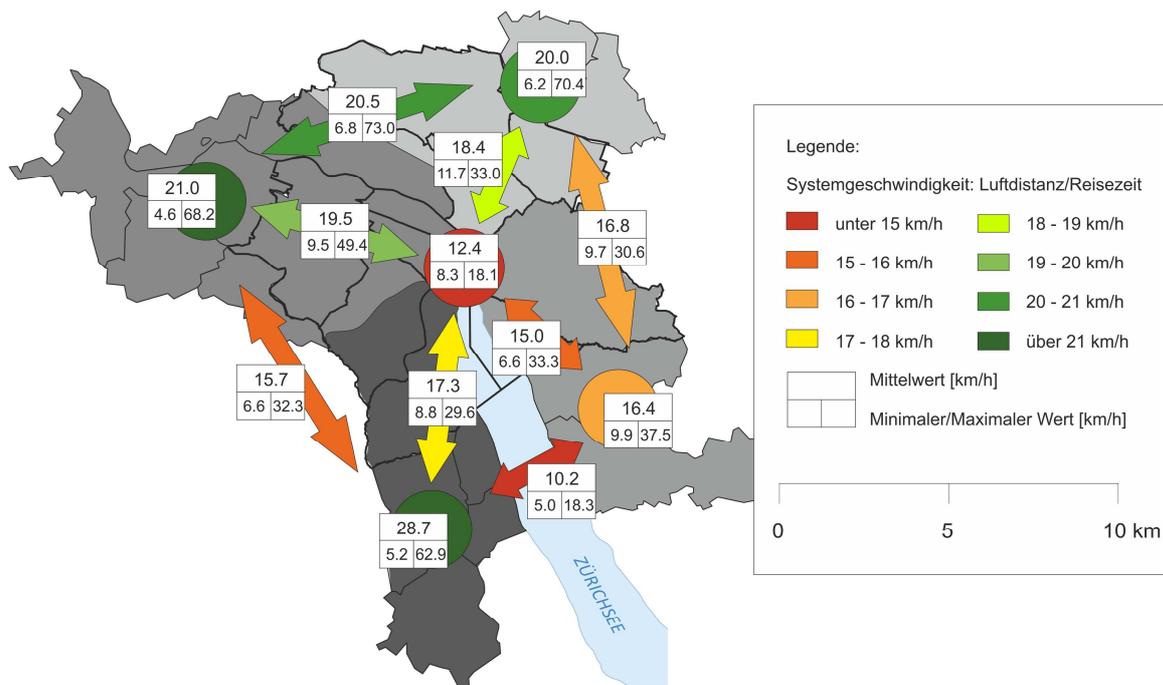
Aus obenstehender Abbildung können die folgenden kritischen Verbindungen abgelesen werden:

- Gebiet: Zürich West
Die Systemgeschwindigkeit von 50% der Verbindungen ist kleiner als 15 km/h
Einige Verbindungen sind jedoch auf die Topographie zurückzuführen, beispielsweise Meierhofplatz – Bahnhof Altstetten

- Gebiet: Zürich Stadtzentrum
Betrachtet wurden lediglich die Knoten Hauptbahnhof, Paradeplatz und Bellevue. Die Tramverbindungen sind trotz kurzer Distanzen besonders langsam. Eine Verbesserung ist dringend erforderlich.
- Gebiet: Zürich Süd-Ost
Die Systemgeschwindigkeit von 60% der Verbindungen ist kleiner als 15 km/h
Eine dichtere Vernetzung der Knoten ist zu prüfen.
- Verbindung: Zürich West – Zürich Süd-West und Zürich Nord – Zürich Süd-Ost
Die Systemgeschwindigkeit von 50% der Verbindungen ist kleiner als 15 km/h
Direktverbindungen zwischen den Gebieten sollen verbessert werden.
- Verbindung: Zürich Stadtzentrum – Zürich Süd-West und Zürich Stadtzentrum – Zürich Süd-Ost
Die Systemgeschwindigkeit von über 50% der Verbindungen ist kleiner als 15 km/h
Es gibt keine sehr schnellen Verbindungen
Verbesserung der Anbindung und Vernetzung der beiden Gebiete mit dem Stadtzentrum soll berücksichtigt werden.
- Verbindung: Zürich Süd-West – Zürich Süd-Ost
Die Systemgeschwindigkeit von nahezu allen Verbindungen ist kleiner als 15 km/h
Dieser Effekt ist mit der Topographie zu begründen. Die Lage des Zürichsees bedingt sehr lange Umwege und dadurch schlechte Systemgeschwindigkeiten. Eine Verbesserung wird nicht erwartet.

Eine Übersicht der Brennpunkte liefert die Abbildung 10. Für jedes Gebiet und jede Verbindung sind der Mittelwert sowie die minimalen und maximalen Werte der Systemgeschwindigkeiten gegeben. Mit der Skala werden die schlechten Verbindungen in rot und die guten Verbindungen in grün farblich unterschieden.

Abbildung 10 Mittelwerte und Bandbreite der Systemgeschwindigkeit



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Die schlechtesten Verbindungen bezüglich Systemgeschwindigkeit bei der Betrachtung der Mittelwerte sind:

- Verbindung: Zürich Süd-Ost – Zürich Süd-West
Mit einer durchschnittlichen Systemgeschwindigkeit von 10.2 km/h ist dies die schlechteste Verbindung. Wie bereits erwähnt ist dies durch die Topographie begründet.
- Gebiet: Zürich Stadtzentrum
Das Stadtzentrum ist das Gebiet mit der Schlechtesten Systemgeschwindigkeit. Mit nur gerade 12.4 km/h müssen die Strecken dringend verbessert werden.
- Weitere Gebiete und Verbindungen deren Geschwindigkeiten erhöht werden sollen:
Gebiet: Zürich Süd Ost
Verbindung: Zürich Nord – Zürich Süd-Ost, Zürich West – Zürich Süd-West und Zürich Stadtzentrum – Zürich Süd-Ost

4.2.4 Geplantes Verkehrsangebot – Liniennetz 2025

Zürich wächst und entwickelt sich weiter. Das Liniennetz muss deshalb frühzeitig auf die zukünftigen Bedürfnisse angepasst werden. Die Gebiete mit dem grössten Wachstum sind die Quartiere Zürich-Nord und Zürich-West. Die Hauptverkehrsknoten sind neben dem Hauptbahnhof die Bahnhöfe Altstetten und Oerlikon. Um diese Punkte optimal zu erschliessen und zu vernetzen, wurde das Liniennetz 2025, eine Studie der VBZ, entwickelt. Diese Studie wird in den folgenden Abschnitten vorgestellt und beinhaltet die bis 2025 zu erreichenden Ziele der VBZ sowie die gebauten und geplanten Projekte zwischen 2010 und 2025.

Ziele der VBZ für das Liniennetz 2025

Um das Liniennetz 2025 erreichen zu können, folgen die VBZ gemäss (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C) „fünf kundenorientierten und wirtschaftlichen Grundsätzen“:

- Möglichst viele Fahrgäste erreichen ihr Ziel schnell und ohne umsteigen
- Jedes Quartier braucht eine Direktverbindung ins Stadtzentrum. Für die Weiterfahrt in ein anderes Quartier soll nur ein Umsteigevorgang nötig sein.
- Neue Entwicklungsgebiete sollen mit neuen Linien direkt, ohne Umweg über das Zentrum, verbunden werden.
- Bessere Abstimmung des Tramnetzes auf die S-Bahn, besonders am Bahnhof Hardbrücke.
- Das Tramnetz soll Stadt und Agglomeration verbinden.

Wenn das zukünftige Liniennetz diese Grundsätze bis 2025 erfüllen soll, müssen einige neue Tramstrecken gebaut werden. Diese Projekte wurden teilweise bereits ausgeführt und werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Durchmesserlinie (Altstetten – Hauptbahnhof – Oerlikon)

Mit dem Grossprojekt wird ein Kapazitätsausbau auf den Strecken Altstetten-HB-Oerlikon erreicht. Die Züge müssen im Hauptbahnhof nicht mehr gewendet werden. Es entsteht eine neue Verbindung vom Limmattal und dem linken Zürichseeufer nach Oerlikon.

Die Investitionskosten belaufen sich auf 2.031 Mia Fr. (Zahl von 2005) Die Inbetriebnahme kann voraussichtlich Ende 2015 erfolgen, für S-Bahnen ab dem linken Seeufer bereits im Juni 2014 (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 A).

Glattalbahn

Die Glattalbahn, Linie 10 des Tramnetzes, verbindet Zürich Nord mit dem mittleren Glattal und bildet damit die Direktverbindung vom Flughafen Zürich zum Hauptbahnhof. Die Streckenabschnitte wurden bis 2010 fertiggestellt und sind bereits in Betrieb (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 D).

Linie 10: Neue Route seit 2010

Fracht – Zürich Flughafen Bahnhof – Bahnhof Glattbrugg – Glattpark – Bahnhof Oerlikon – Milchbuck – ETH/Universitätsspital – Hauptbahnhof

Tram Zürich-West

Das Quartier Zürich-West liegt zwischen dem Escher-Wyss-Platz und dem Bahnhof Altstetten. Auf den ehemaligen Industriearealen entstehen neue Arbeitsstätten und Wohnbauten, weshalb dieses Gebiet auf geeignete Infrastrukturmassnahmen angewiesen ist.

Die Hauptarbeiten am Projekt Tram Zürich-West wurden 2011 abgeschlossen und die neue, verlängerte Linie 4 ging Ende 2011 in Betrieb. Das Projekt wurde gleichzeitig wie der Umbau der Pfingstweidstrasse realisiert und die Baukosten beider Bauvorhaben beliefen sich auf je rund 150 Mio Fr. (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 F).

Die neue Linie 4 erschliesst fünf S-Bahnbahnhöfe und fördert damit die Umsteigemöglichkeiten zwischen Tram und S-Bahn (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 F).

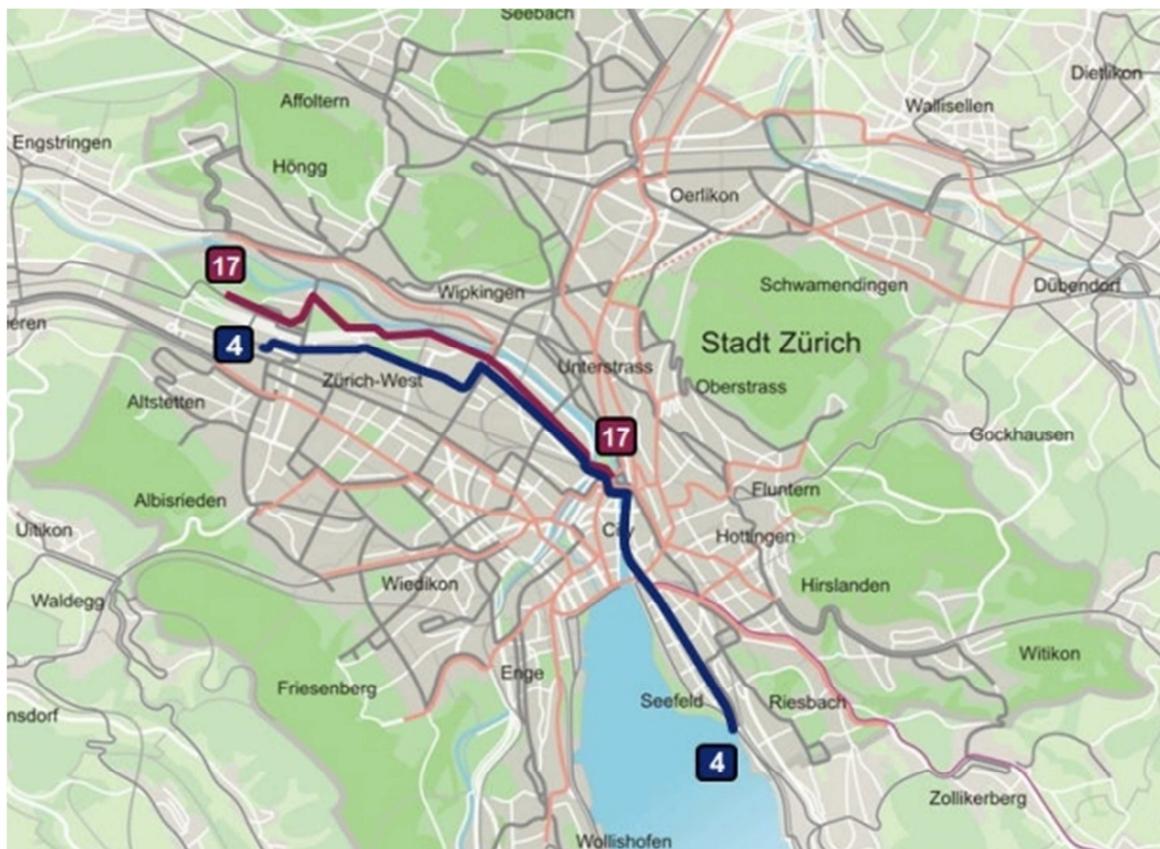
Linie 4: neue Route seit 2011

Bahnhof Altstetten – Schiffbau – Escher-Wyss-Platz – Hauptbahnhof – Bellevue – Bahnhof Tiefenbrunnen

Linie 17: bisheriger Westast der Linie 4, bis Ende 2016

Werdhölzli – Tüffenwies – Escher-Wyss-Platz – Hauptbahnhof

Abbildung 11 Tram Zürich-West, neue Linienführung der Linien 4 und 17



Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 F)

Limmattalbahn

Das Limmattal ist eine der am stärksten wachsenden Regionen Zürichs. Die Bevölkerungszunahme und damit der Anstieg des Verkehrs soll die Limmattalbahn übernehmen (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 E). Die Bahn mit dem Charakter einer Stadtbahn soll eine Strecke von rund 13,4 km mit 27 Haltestellen aufweisen. Seit 2012 wird das Bauprojekt erarbeitet. Die Planungsarbeiten finden voraussichtlich im Jahr 2017 ihren Abschluss, danach kann mit der Ausführung begonnen werden. (Limmattalbahn AG, 2013).

Limmattalbahn: Inbetriebnahme der ersten Etappe 2020

Bahnhof Altstetten – Farbhof – Zentrum Schlieren – Spital Limmattal – Herweg (Niederurdorf) – Birmensdorferstrasse (Glanzenberg) – Bahnhof Dietlikon – SCS/Tivoli – Bahnhof Killwangen-Spreitenbach

Tramverbindung Hardbrücke

Die neue Tramstrecke soll zwischen dem Hardplatz und dem Escher-Wyss-Platz entstehen. Die Tramverbindung Hardbrücke schliesst den S-Bahnbahnhof Hardbrücke vollständig an das Tramnetz an und entlastet damit den Hauptbahnhof Zürich. Für das Bauprojekt wurden 100 Mio Fr. als Investitionskosten vorgesehen. Die Bauarbeiten sollen 2015 aufgenommen werden und die neue Strecke bereits Ende 2017 in Betrieb gehen (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 G).

Linie 8: Verlängerung ab Hardplatz bis zum Werdhölzli, ab 2017

Werdhölzli – Tüffenwies – Escher-Wyss-Platz – Bahnhof Hardbrücke – Hardplatz – Stauffacher – Paradeplatz – Bellevue – Klusplatz

Linie 17: zur Bewältigung der hohen Nachfrage in der HVZ, ab 2017

Direktverbindung: Hardturm – Escher-Wyss-Platz – Hauptbahnhof

Die Linienführung der Linien 4, 8 und 17 ist nachfolgend in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12 Tram Hardbrücke, neue Linienführung



Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 E)

Tramtangente Rosengarten

Die Quartiere Zürich-West und Zürich-Nord sollen bis 2020 über die Rosengartenstrasse miteinander verbunden werden. Mit der Realisierung neuer Infrastrukturelemente können zwei weitere Tramlinien umgesetzt werden. Die wichtigen Abschnitte werden Milchbuck und Escher-Wyss-Platz, Hardplatz und Albisriederplatz sowie Farbhof und Hermetschloo verbinden (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C).

Linie 16: Neue Linie ab 2020

Hermetschloo – Farbhof – Albisriederplatz – Hardbrücke – Escher-Wyss-Platz – Bucheggplatz – Milchbuck – Schwamendingerplatz – Hirzenbach

Linie 17: Neue Linie ab 2020

Letzigrund – Albisriederplatz – Hardbrücke – Escher-Wyss-Platz – Bucheggplatz – Bahnhof Oerlikon - Seebach

Linie 9: Neu nach Flughafen Kloten, ab 2020

Triemli – Bahnhof Wiedikon – Paradeplatz – Bellevue – ETH/Universitätsspital – Milchbuck – Bahnhof Oerlikon – Glattpark – Bahnhof Glattbrugg – Zürich Flughafen Bahnhof - Fracht

Linie 10: Neu nach Bucheggplatz, ab 2020

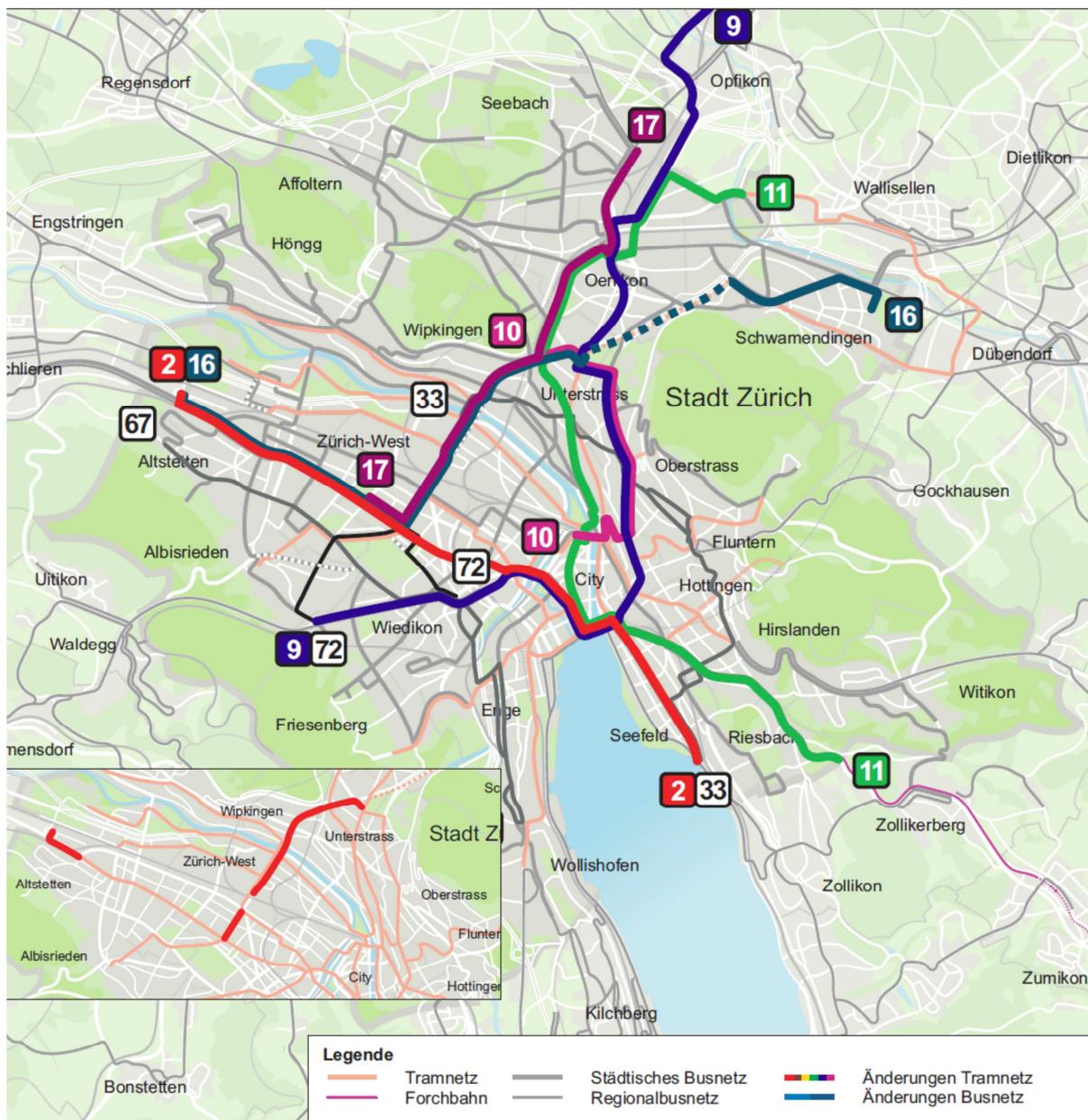
Bucheggplatz – Milchbuck – ETH/Universitätsspital – Hauptbahnhof

Linie 2: Verlängerung bis Hermetschloo, ab 2020

Hermetschloo – Farbhof – Albisriederplatz – Stauffacher – Paradeplatz – Bellevue – Bahnhof Tiefenbrunnen

Abbildung 13 zeigt die geplante Linienführung der Tramlinien 2, 9, 10, 11, 16 und 17 sowie die Busrouten 33, 67 und 72.

Abbildung 13 Tramtangente Rosengarten, neue Linienführung



Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C)

Tramtangente Zürich Süd und Verlängerung der Forchbahn

Das Entwicklungsgebiet im Süden soll bis 2025 ebenfalls besser durch den öffentlichen Verkehr erschlossen werden. Dazu wird die Tramlinie 17 von Albisriederplatz via Saalsporthalle bis zu Kirche Fluntern verlängert. Ausserdem wird die Forchbahn um die Strecke zwischen Bahnhof Stadelhofen und Hauptbahnhof erweitert. Die wichtigsten Infrastrukturelemente dieser Bauetappe sind die Abschnitte zwischen Kalbreite und Bahnhof Wiedikon, Schmiede Wiedikon und Laubegg sowie der Ausbau der Bahnhofbrücke (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C).

Linie 17: Verlängerung Albisriederplatz bis Kirche Fluntern, ab 2025

Kirche Fluntern – Bellevue – Bahnhof Enge – Saalsporthalle – Laubegg – Binz – Bahnhof Wiedikon – Albisriederplatz – Hardbrücke – Escher-Wyss-Platz – Bucheggplatz – Bahnhof Oerlikon - Seebach

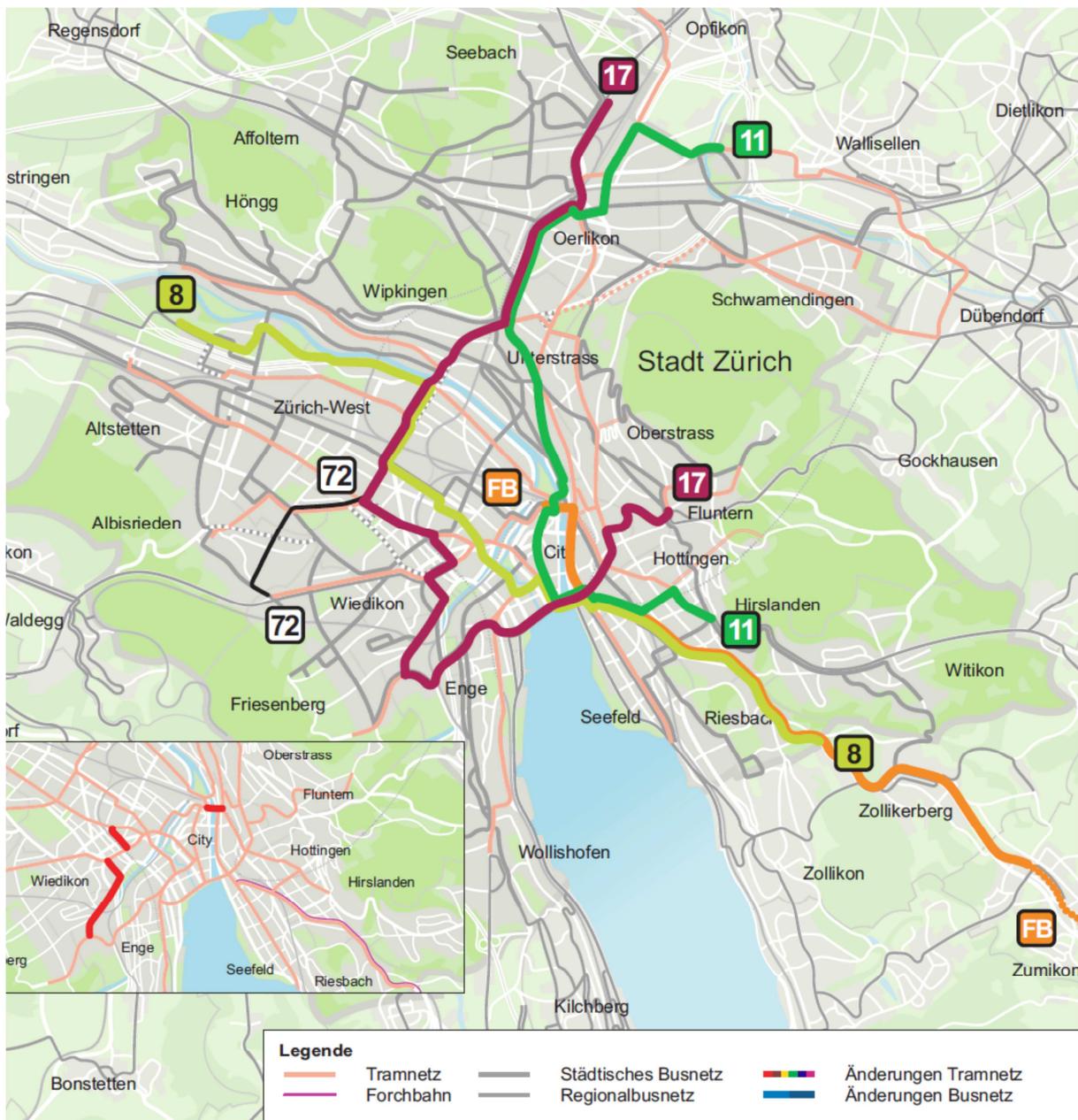
Linie 15: Aufhebung, ab 2025

Forchbahn S18: Verlängerung bis Hauptbahnhof, ab 2025

Zürich Hauptbahnhof – Stadelhofen – Rehalp – Zumikon – Forch – Egg – Esslingen

Die beschriebenen Änderungen der Linienführung werden in Abbildung 14 veranschaulicht.

Abbildung 14 Tramtangente Zürich Süd, neue Linienführung

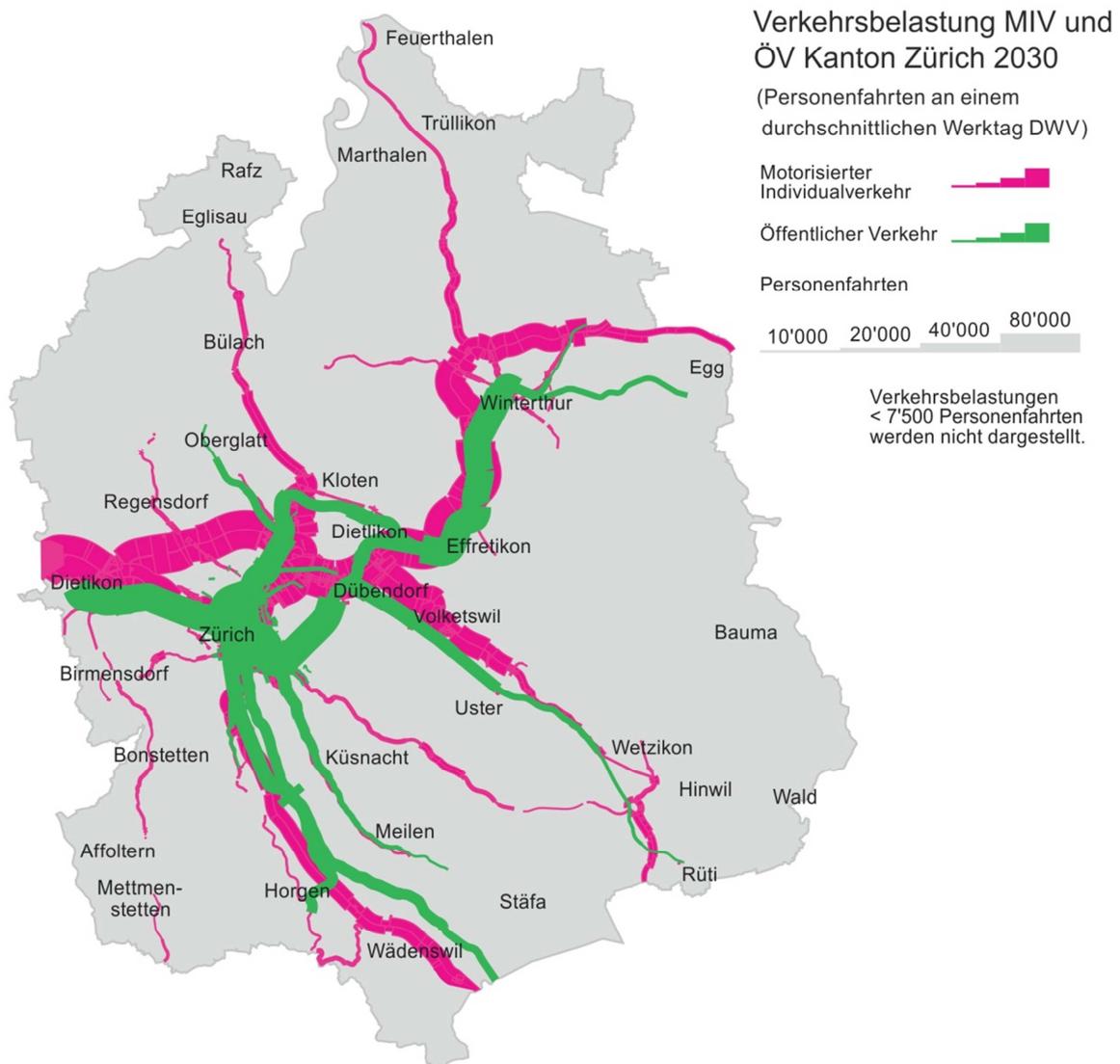


Quelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C)

4.2.5 Verkehrsnachfrage

Die Nachfrage wurde qualitativ betrachtet. Abbildung 15 zeigt die erwarteten Verkehrsbelastungen mit dem MIV und dem ÖV im Jahr 2030. Die Hochrechnung wurde durch das Amt für Verkehr mit einem Gesamtverkehrsmodell durchgeführt (Kanton Zürich, Volkswirtschaftsdirektion, Amt für Verkehr, 2007 A).

Abbildung 15 Verkehrsnachfrage MIV und ÖV im Kanton Zürich 2030



Quelle: (Kanton Zürich, Volkswirtschaftsdirektion, Amt für Verkehr, 2007 A)

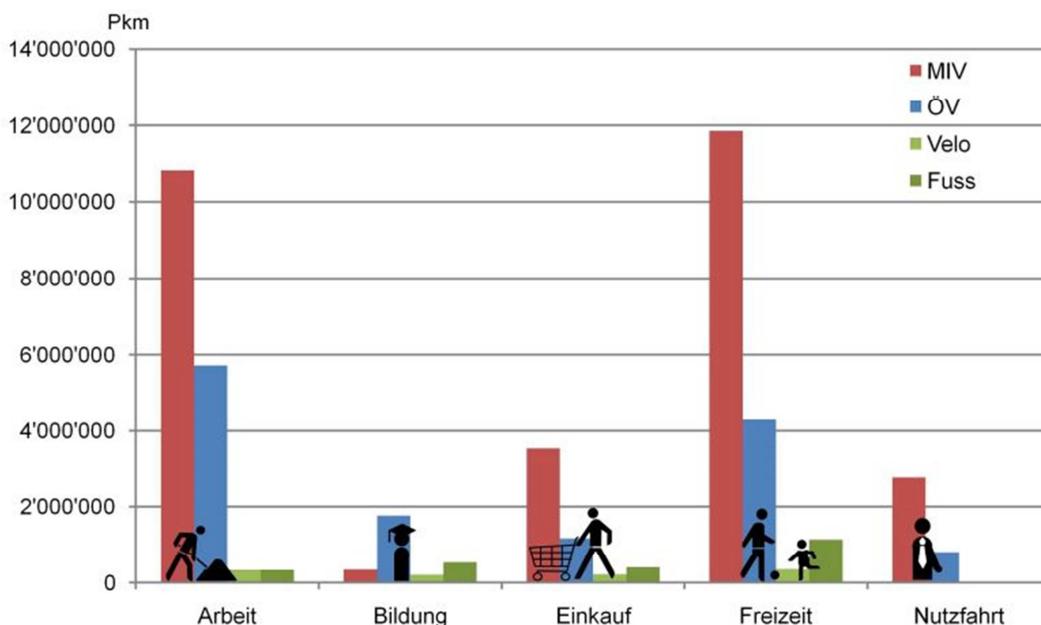
Die grössten Verkehrsströme im öffentlichen Verkehr werden demnach auf den folgenden Achsen erwartet:

- Dietikon – Zürich
- Kloten – Zürich
- Uster – Dübendorf – Zürich
- Winterthur – Effretikon – Dübendorf - Zürich
- Küsnacht – Zürich
- Adliwil – Zürich
- Horgen – Thalwil – Kilchberg - Zürich

Die Verkehrsstromstruktur kann bei Betrachtung der Abbildung 15 und unter Anwendung der definierten Verkehrsstromstrukturtypen in (Weidmann, 2011 A) Kapitel 3, Seite 40/143 festgelegt werden. In Zürich tritt eine radiale Nachfragestruktur, also TypV2 auf.

Mit Abbildung 16 werden die Verkehrszwecke der einzelnen Verkehrsmittel an einem durchschnittlichen Werktag aufgezeigt.

Abbildung 16 Personenkilometer an einem durchschnittlichen Werktag (DTV), nach Verkehrszweck



Quelle: (Kanton Zürich, Volkswirtschaftsdirektion, Amt für Verkehr, 2007 B)

Aus obestehender Grafik kann die Verteilung nach Verkehrszweck für den öffentlichen Verkehr (blau) wie folgt abgelesen werden:

Arbeit	ca. 42.5%	Freizeit	ca. 31.5%
Bildung	ca. 12.5%	Nutzfahrt	ca. 6.0%
Einkauf	ca. 7.5%		

Die folgende Auflistung zeigt die zehn meistfrequentierten Haltestellen der VBZ (Anzahl Ein- und Ausstiege pro Werktag) (Stadt Zürich, 2012 A):

- Bellevue
- Paradeplatz
- Bahnhofstrasse / HB
- Stauffacher
- Bahnhofplatz / HB
- Central
- Bahnhofquai / HB
- Milchbuck
- Rennweg
- Bucheggplatz

4.3 Randbedingungen

In diesem Kapitel werden die räumlichen, zeitlichen, infrastrukturellen, technologischen, finanziellen und umweltbezogenen Randbedingungen definiert.

4.3.1 Räumliche und zeitliche Randbedingungen

Die räumlichen und zeitlichen Randbedingungen entsprechen den räumlichen und zeitlichen Abgrenzungen in Kapitel 4.1 ab Seite 28.

4.3.2 Infrastrukturelle Randbedingungen

Die infrastrukturellen Randbedingungen werden in die folgenden vier Kategorien eingeteilt (Weidmann, 2011 A) Kapitel 3, Seite 43/143. Die einzelnen Projekte wurden bereits im Kapitel 4.2.4 ab Seite 46 vorgestellt.

Kategorie 1: Zum aktuellen Zeitpunkt bereits bestehende Infrastruktur, deren Entfernung nicht beabsichtigt ist.

- Bahninfrastruktur
- Gesamtes S-Bahnnetz
- Seil- und Zahnradbahnen sowie andere Spezialbahnen
- Tramlinien in ihrer Grundstruktur
- Fahrleitungen der Trolleybuslinien
- Glattalbahn
- Tram Zürich-West

Kategorie 2: Bereits definierte Infrastrukturanpassungen, welche aufgrund des Projektfortschrittes im Planungszeitraum mit hoher Wahrscheinlichkeit realisiert werden. Insbesondere Projekte mit gesicherter Finanzierung und weit vorangeschrittenem Bewilligungsverfahren.

- Durchmesserlinie (Altstetten – Hauptbahnhof – Oerlikon)
- Tramverbindung Hardbrücke
- Limmattalbahn

Kategorie 3: Infrastrukturanpassungen, welche sich im Planungszeitraum nicht umsetzen lassen, aber im Anschluss daran zur Realisierung gelangen werden und damit Vorwirkungen haben.

- Tramtangente Rosengarten

Kategorie 4: Infrastrukturen, welche auch langfristig mit Sicherheit nicht zur Verfügung stehen.

- Tramtangente Zürich Süd und Verlängerung der Forchbahn

4.3.3 Technologische Randbedingungen

Im Tramnetz verkehren Trams zweier Typen. Zum einen die 2000er Trams und zum anderen das Cobra Tram. Ihre technischen Daten wurden bereits im Kapitel 4.2.2 ab Seite 36 vorgestellt.

Für ein U-Bahnsystem werden die zeitgemässen Technologien verwendet.

4.3.4 Finanzielle Randbedingungen

Als Anhaltspunkt für die finanzielle Planung von Projekten wird der Wert aus der Metro/tram Studie (Weidmann, et al., 2012) verwendet:

„Hinsichtlich der Finanzierung wird davon ausgegangen, dass sich die jährlich zur Verfügung stehenden Mittel etwa in der Grössenordnung der letzten Jahre bewegen, das heisst um 130 bis 150 Mio. Franken.“

4.3.5 Umweltbezogene Randbedingungen

Es gelten die Schutzgebiete gemäss dem kantonalen Richtplan (Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Raumentwicklung, 2007).

Für die Planung sind die folgenden Schutzgebiete relevant:

- Landschaftsschutzgebiet um den Chatzensee
- Landschaftsschutzgebiet Oberglatt
- Landschaftsschutzgebiet um den Uetliberg

4.4 Anforderungen

Tabelle 12 zeigt die Zusammenstellung der Parameter der verschiedenen Verkehrsmittel gemäss (Weidmann, 2011 A). Die Parameter sind in Angebot, Produktion, Rollmaterial und Infrastruktur unterteilt.

Tabelle 12 Parameter der Verkehrsmittel bezüglich Angebot, Produktion, Rollmaterial und Infrastruktur

Kriterium		Einheit	S-Bahn	U-Bahn	Stadtbahn	Strassen- bahn / Tram	Bus
A	Beförderungsgeschwindigkeit	[km/h]	40 – 50	25 – 45	25 – 40	15 – 20	15 – 60
	Haltepunktabstände	[km]	2.0 – 3.5	0.5 – 1.5	0.5 – 0.7	0.25 – 0.5	0.3 – 50
	Minimaler Angebotstakt	[Kurs/h/Rtg]	-	30	15	12/Linie	30
	Maximale Linienlänge	[km]	-	20 – 30	35	25	100
P	Minimale techn. Kursfolgezeit	[s]	-	75 – 90	45	30	30
	Streckenkapazität	[Kurs/h/Rtg]	-	40 – 50	75	120	120
	Beförderungskapazität	[Pers/h/Rtg]	-	9'500	4'000	3'600	1'600 - 2'000
	Spezifische Produktionskosten	[CHF/Zugs-km]	-	15 – 20	15 – 17	13 – 16	6 – 10
R	Techn. Höchstgeschwindigkeit	[km/h]	-	80 – 130	100	65	80
	Maximale Länge der Einheit	[m]	-	200	80	45	25
	Fassungsvermögen	[Pers/Einheit]	-	1400	300	220	125
	Spezifische Kosten Fahrzeug ¹	[CHF/Sitzplatz]	-	35'000 - 45'000	40'000 - 45'000	35'000 - 45'000	10'000 - 15'000
I	Minimale Kurvenradien	[m]	-	75 – 200	20 – 25	15	15
	Maximale Streckenneigungen	[‰]	-	20 – 50	70	70	120
	Fahrstreifenbreite	[m]	-	3.7 – 4.3	3.4 – 3.6	2.7 – 3.0	3.7 – 4
	Spezifische Kosten Infrastruktur	[Mio CHF/km]	-	50 – 120	15 / 60	15 / 35	5

Quelle: (Weidmann, 2011 A) Kapitel 2, Seite 24/117 und folgende

¹ (Weidmann, 2011 A) Kapitel 3, Seite 138/143

A: Angebot

P: Produktion

R: Rollmaterial

I: Infrastruktur

Die Anforderungen werden nach Verkehrsmittel unterscheiden. Die folgenden funktionalen Anforderungen können den Parametern in Tabelle 12 entnommen werden (Weidmann, 2011 A):

4.4.1 Zugänglichkeit

A Haltepunktabstände (Tabelle 12)

Im Innenstadtbereich können die Haltepunktabstände etwas kleiner sein als in den Aussenquartieren.

4.4.2 Verfügbarkeit

Beschreibt die Kurszeiten zu welchen das Angebot zur Verfügung steht. Das bestehende Angebot soll beibehalten werden. Im aktuellen Fahrplan (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B) verkehren nicht alle Tramlinien zu denselben Zeiten. Die meisten haben jedoch die folgenden Fahrplanzeiten: Mo-So 05.00 – 01.00

4.4.3 Häufigkeit

A minimaler Angebotstakt (Tabelle 12)

Die Trams verkehren während den Hauptverkehrszeiten mit einem Takt von 7.5 Minuten, in Randstunden mit 10 oder 15 Minuten (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B).

4.4.4 Beförderungsgeschwindigkeit

A Beförderungsgeschwindigkeit (Tabelle 12)

Die Tramlinien sollen mit einer Reisegeschwindigkeit von mindestens 15 bis 20 km/h verkehren.

4.4.5 Umsteigefreiheit

Von allen Quartieren und Gemeinden soll das Stadtzentrum umsteigefrei erreicht werden können. Ausserdem sollen die Quartiere untereinander möglichst viele Direktverbindungen haben, so dass die Anzahl der Umsteigevorgänge reduziert wird.

4.4.6 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit soll mindestens den aktuellen Stand halten, oder verbessert werden.

4.4.7 Komfort und Qualität

Das bestehende Rollmaterial soll weiterhin verwendet werden. Bei der Planung von Rollmaterial neuer Systeme können Qualität und Komfort dem aktuellen Stand der Technik angepasst werden.

4.5 Qualitative Zielgrössen

Für die spätere Bewertung der Varianten werden die folgenden qualitativen Zielgrössen definiert:

4.5.1 Minimierung der Reisezeit

Bei der Minimierung der Gesamtreisezeit wird untersucht wie sich die Reisezeit verändert hat. Betrachtet wird die Veränderung sowohl im gesamten Netz wie auch in den einzelnen Gebieten und unter den Verbindungen zwischen den Gebieten, wie sie in Kapitel 4.2.3 definiert wurden.

4.5.2 Verbesserte Reisegeschwindigkeit auf den Tramlinien

Mit dieser Zielgrösse wird überprüft ob und wie stark die Reisegeschwindigkeiten verbessert werden können. Ein weiterer Vergleichswert, der ebenfalls die Reisegeschwindigkeiten untersucht, ist die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit im Tramnetz. Sie ergibt sich aus der Summe der Streckenlängen dividiert durch die Summe aller Reisezeiten.

4.5.3 Minimierung der Umsteigevorgänge

Gepprüft wird, ob die Anzahl der Umsteigevorgänge reduziert wurde.

4.5.4 Optimierung der Lage der Umsteigepunkte

Die Lage der Umsteigepunkte soll optimiert werden. Die Haltestellenabstände sollen im empfohlenen Bereich aus Tabelle 12 bei ca. 500m liegen.

5 Variantenentwicklung

5.1 Varianten

Die für die Entwicklung und Berechnung erforderlichen Annahmen und Definitionen werden im nachfolgenden Kapitel festgehalten. Anschliessend werden drei Varianten vorgestellt. Neben Leitidee und Beschreibung werden die infrastrukturellen, qualitativen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Varianten aufgezeigt.

5.1.1 Annahmen und Definitionen

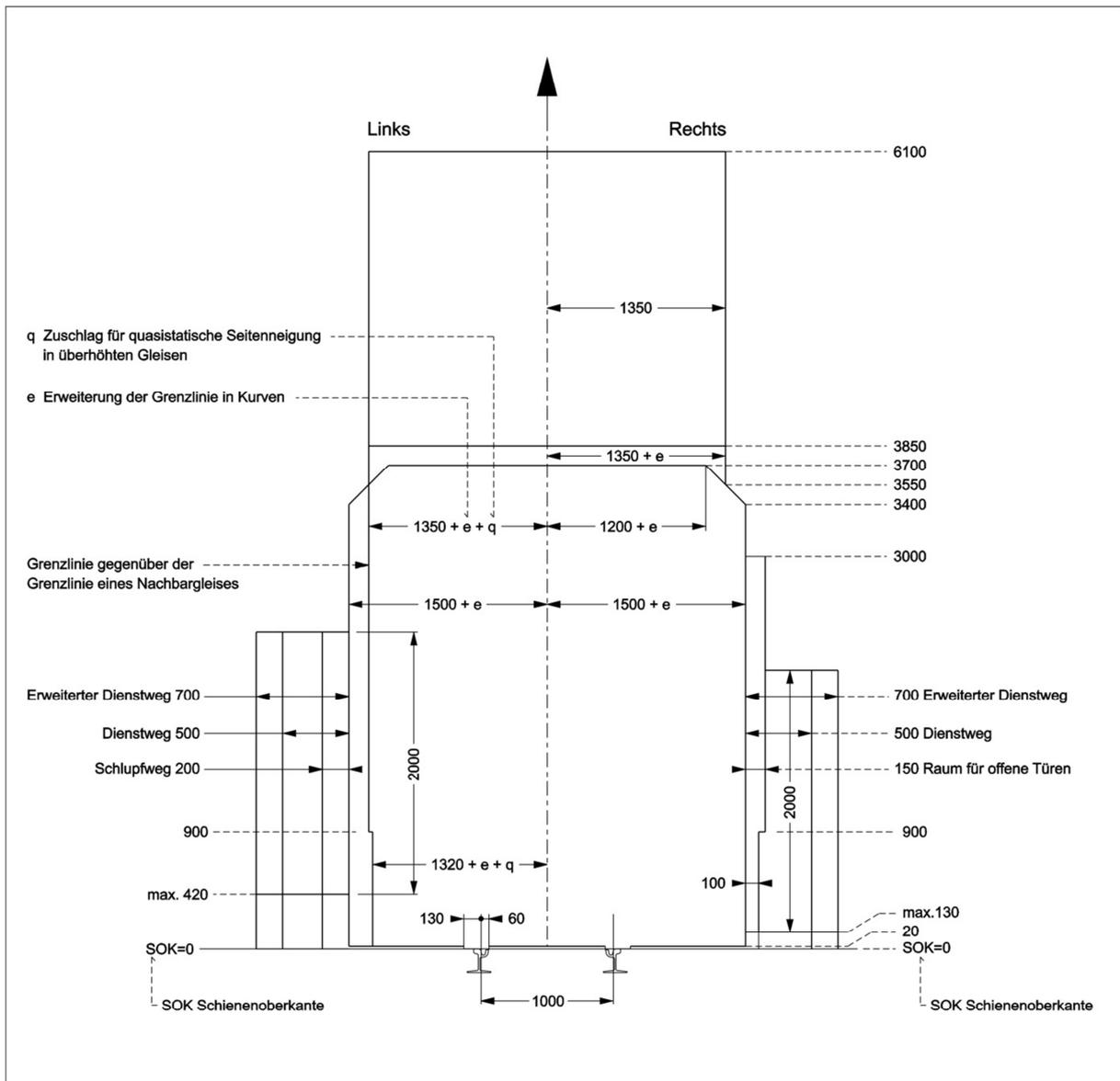
Streckengeometrie

Für die Abschätzung der Rampenlänge wurde ein Gefälle von 50 ‰ angenommen. Das Lichtraumprofil für die freie Strecke gemäss (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008) ist in Abbildung 17 dargestellt. Für die Berechnung wurde eine lichte Höhe von 6.5m verwendet. Die Länge der Rampe wurde wie folgt abgeschätzt:

$$\begin{aligned} \text{Lichte Höhe:} & \quad H = 6.5m \\ \text{Überdeckung:} & \quad \ddot{U} = 1.0m \\ \text{Gefälle:} & \quad \alpha = 50\text{‰} \\ \text{Rampenlänge:} & \quad L \cong \frac{H + \ddot{U}}{\alpha} = \frac{6.5m + 1.0m}{0.05} = 150m \end{aligned}$$

In den nachfolgenden Berechnungen und den Entwürfen der Varianten wurde eine Rampenlänge von 150m eingeplant. Bei Strecken mit eigenem Längsgefälle oder -steigung wurden zur Abschätzung ebenfalls Rampen von 150m Länge verwendet. Die erforderliche Reserve dazu ist in der angenommenen Überdeckung von 1.0m enthalten.

Abbildung 17 Lichtraumprofil auf freier Strecke



Bildquelle: (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

Fahrzeitberechnung und Fahrplanerstellung

Für die Berechnung der Fahrzeiten wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Berechnung mit dem Trapez-Verfahren, welches die Beschleunigungs- und Bremsdauer sowie die Fahrzeit mit konstanter Geschwindigkeit berücksichtigt. (Weidmann, 2011 B)
- Streckengeschwindigkeiten für Trambetrieb (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2008)

im Tunnel, auf eigenem Trasse:	60 km/h	> 0 ‰
in Gefällen, auf eigenem Trasse:	60 km/h	< 30 ‰
	42 km/h	< 50 ‰
	30 km/h	< 70 ‰
- Streckengeschwindigkeiten für U-Bahnbetrieb (Weidmann, 2011 A)

Technische Höchstgeschwindigkeit:	80 – 130 km/h	80 km/h (Wahl)
-----------------------------------	---------------	----------------
- Beschleunigungs- und Bremsvermögen des Trams (Weidmann, 2011 B)

Beschleunigen:	0.8 – 1.3 m/s ²	1.0 m/s ² (Wahl)
Bremsen:	0.8 – 1.2 m/s ²	1.0 m/s ² (Wahl)
- Beschleunigungs- und Bremsvermögen der U-Bahn (Weidmann, 2011 B)

Beschleunigen:	0.8 – 1.3 m/s ²	1.0 m/s ² (Wahl)
Bremsen:	0.7 – 1.2 m/s ²	1.0 m/s ² (Wahl)
- Haltezeit

	20 – 60 Sec	30 Sec / 45 Sec (Wahl)
--	-------------	------------------------
- Reservezeit im Trambetrieb

Die Ermittlung der Reservezeiten erfolgte durch die Überlagerung des Trapezverfahrens mit den von den VBZ vorgegeben Streckengeschwindigkeiten und den Fahrplanangaben.
- Reservezeit im U-Bahnbetrieb (Weidmann, 2011 B)

empfohlen:	5 – 7 ‰	10 ‰ (Wahl)
------------	---------	-------------
- Umsteigezeit:

Um die Anschlüsse gewähren zu können ohne einen kompletten Fahrplan auszuarbeiten wird die halbe Taktzeit als Umsteigezuschlag berücksichtigt.

Umsteigen Tram:	4 Minuten
Umsteigen U-Bahn:	5 Minuten (aufgrund der längeren Gehwegen bei unterirdischen Haltestellen)

Die Berechnungen mit dem Trapez-Verfahren sowie die neuen Fahrpläne sind den Anhängen A5 Fahrzeitberechnungen und A6 Fahrpläne zu entnehmen.

Überlegungen zum Kompositionseinsatz und zur Taktverdichtung

Durch die Reisezeitersparnis der Tramlinien können die folgenden beiden Überlegungen beziehungsweise Abschätzungen gemacht werden:

- Abschätzung des Kompositionsbedarfs

Welche Einsparung an Rollmaterial kann erzielt werden, wenn von einem 7.5 Minuten-Takt und den neuen Umlaufzeiten ausgegangen wird?

Zur ersten Abschätzung der Umlaufzeiten wird zur Reisezeit 7.5 Minuten als Wendezeit aufgeschlagen. Als zweiter Schritt wird der Fahrzeugbedarf berechnet. Die Wendezeit wird daraufhin so angepasst, dass der Fahrzeugbedarf ganzzahlig ist. Der Wert der Wendezeit pro Wendepunkt soll dabei zwischen mindestens 3 bis 4 Minuten liegen (Weidmann, 2011 B) Kapitel 2, Seite 84/90 und maximal der Taktzeit entsprechen. Diese Berechnung wird für den bestehenden und den neuen Fall durchgeführt. Aus dem Vergleich der beiden Fälle vorher und nachher wird anschliessend die Kompositionseinsparung bestimmt.

Der aktuelle Fuhrpark der VBZ wurde in Tabelle 8 und Tabelle 9 im Kapitel 4.2.2 vorgestellt. Insgesamt besitzen die VBZ 288 Fahrzeugeinheiten. Davon sind 120 vom Typ Be 4/6 „Tram 2000“, 50 motorisierte Anhängerwagen vom Typ Be 4/6 und 88 Be 5/6 Cobra. Total sind dies 208 Motorwagen.

Aus der Betrachtung des bestehenden Systems geht hervor, dass für den Taktbetrieb mit 7.5 Minuten insgesamt 151 Kompositionen erforderlich sind. Dieser Wert ist plausibel, da in den 208 Motorwagen einerseits die Fahrzeugreserve enthalten ist (ca. 25-32 Fahrzeuge), andererseits verkehren manche Linien mit Doppel-Kompositionen.

- Abschätzung der Taktverdichtung

Welche Taktverdichtung kann, unter Verwendung des bestehenden Kompositionsbestandes und den neuen Umlaufzeiten, erreicht werden?

Die zuvor bestimmten Wendezeiten des bestehenden Systems werden für diese Abschätzung übernommen. Die Wendezeiten des neuen Falles werden auf ein Minimum von total 7 Minuten (3-4 Minuten pro Richtung) gesetzt. Der Fahrzeugbestand aus dem bestehenden Fall wird so angepasst, dass die Taktzeit, berechnet aus dem Quotienten der neuen Umlaufzeit und des Kompositionsbestands, bei allen Linien ungefähr gleich ist. Dieser Wert kann als die neue Taktzeit angenommen werden.

Berechnung der Reisezeiten und Systemgeschwindigkeiten

Bei der Berechnung der Reisezeiten für jede Variante wurden aus der Quell-Ziel-Matrix mit den dreissig Umsteigeknoten einige Verbindungen für die Bewertung ausgewählt. Die Auswahl wurde aufgrund der folgenden Kriterien getroffen:

- Alle direkten Verbindungen, ohne Umsteigevorgänge
- Verbindungen im Tramnetz mit einmaligem Umsteigen
- Verbindungen aus verschiedenen Geschwindigkeitskategorien
- Von jeder Verbindung und jedem Gebiet mehrere Verbindungen

Abbildung 18 zeigt die ausgewählten Verbindungen, anhand welcher die Bewertung der Systemgeschwindigkeiten und der Nachfrageveränderung für die Varianten durchgeführt wird.

Abbildung 18 ausgewählte Verbindungen zur Bewertung der Varianten

		Zürich	Zürich Nord										Zürich West							Zürich Süd-West				Zürich Süd-Ost								
		Zürich Hauptbahnhof	Bellevue	Paradeplatz	Schaffhauserplatz	Milchbuck	Stettbach Bahnhof	Schwamendingerplatz	Wallisellen Bahnhof	Glattbrugg Bahnhof	Oerlikon Bahnhof	Affoltern Bahnhof	Wipkingen Bahnhof	Hardbrücke Bahnhof	Triemli	Lindenplatz	Altstetten Bahnhof	Tüffenwies	Meierhofplatz	Dietikon	Wiedikon Bahnhof	Enge Bahnhof	Saalsporthalle	Adliswil	Wollishofen Bahnhof	Kilchberg	Kirche Fluntern	Klusplatz	Hegibachplatz	Tiefenbrunnen Bahnhof	Küsnacht	
Zürich Kern-stadt	Zürich Hauptbahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Bellevue	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Paradeplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Zürich Nord	Schaffhauserplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Milchbuck	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Stettbach Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Schwamendingerplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Wallisellen Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Glattbrugg Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Oerlikon Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Zürich West	Affoltern Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Wipkingen Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Hardbrücke Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Triemli	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Lindenplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Altstetten Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Tüffenwies	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Zürich Süd-West	Meierhofplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Dietikon	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Wiedikon Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Enge Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Saalsporthalle	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Zürich Süd-Ost	Adliswil	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Wollishofen Bahnhof	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Kilchberg	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Kirche Fluntern	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Klusplatz	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Quelle: Eigene Abbildung

Investitionskosten

Die Berechnung der Investitionskosten, basiert auf den Kostenansätzen aus der Broschüre Metro/tram Zürich, (Weidmann, et al., 2012), wie sie in Tabelle 13 dargestellt sind.

Tabelle 13 Kostenansätze – Investition

Streckenart	Kosten
Innenstadttunnel	200 bis 250 Mio. Franken pro km
Streckenverlängerungen in die Stadt und in die Vororte	35 bis 40 Mio. Franken pro km
Beschleunigung und Eigentrassierung	10 bis 15 Mio. Franken pro km

Quelle:

(Weidmann, et al., 2012)

Produktionskosten

Die Fahrplankilometer werden mit den Ansätzen der Produktionskosten pro Fahrzeugart multipliziert. In Tabelle 14 sind die Kostenansätze für die Produktionskosten festgehalten.

Tabelle 14 Kostenansätze – Produktion

Fahrzeugart	Kosten	
	Bereich	Wahl
Tram ¹	13-16 CHF/Tram-km	15 CHF/Tram-km
Stadtbahn ²	15-17 CHF/Zugs-km	15 CHF/Zugs-km
U-Bahn ³	15-20 CHF/Zugs-km	18 CHF/Zugs-km

Quelle:

¹ (Weidmann, 2011 A), Kapitel 2, Seite 38/117

² (Weidmann, 2011 A), Kapitel 2, Seite 34/117

³ (Weidmann, 2011 A), Kapitel 2, Seite 27/117

5.1.2 Variante 1: Tramtunnel in der Innenstadt

Leitidee

Das bestehende Tramnetz hat auf seinen Linien und den einzelnen Streckenabschnitten sehr unterschiedliche Reisegeschwindigkeiten. In den Aussenquartieren und den Strecken mit Eigentrasse entspricht sie der gewünschten Grösse von über 15 km/h. Besonders in der Innenstadt, um den Hauptbahnhof, in der Bahnhofstrasse und zwischen Bellevue und Paradeplatz ist sie jedoch bedeutend geringer. Auf diesen Abschnitten werden lediglich Reisegeschwindigkeiten von unter 10 km/h erreicht. Da nahezu alle Tramlinien diese Teilstrecken befahren, soll der betroffene Bereich mit der unterirdischen Führung der Tramlinien verbessert werden.

Beschreibung

Nicht nur die Reisegeschwindigkeiten, sondern auch die Streckenkapazität stellt auf den erwähnten Abschnitten ein Problem dar. Um diese Mängel zu beheben, werden nicht alle Linien unterirdisch geführt. Damit entsteht in der Bahnhofstrasse eine „vierspürige“ Tramverbindung, vierspürig, aufgrund der beiden bestehenden oberirdischen und der neuen unterirdischen Trampuren. Für den Trambetrieb in eine Richtung stehen nun zwei Spuren zur Verfügung.

Der Tunnelbereich umfasst die folgenden Strecken:

- Beckenhof – Central – Hauptbahnhof – Bahnhofstrasse – Paradeplatz
- Neumarkt – Central – Hauptbahnhof – Löwenplatz
- Bürkliplatz – Paradeplatz – Sihlstrasse

Bei der Planung der Linien wurde darauf geachtet, dass die erforderlichen Rampen für die Tieferlegung des Trams nicht in Abschnitten zu liegen kommen welche auch oberirdische Linien führen. Aufgrund dessen wurden die unterirdischen Linien ausgewählt. In Tabelle 15 ist die geplante ober- bzw. unterirdische Linienführung der Trams definiert.

Tabelle 15 Variante 1: Tramtunnel, Linienführung

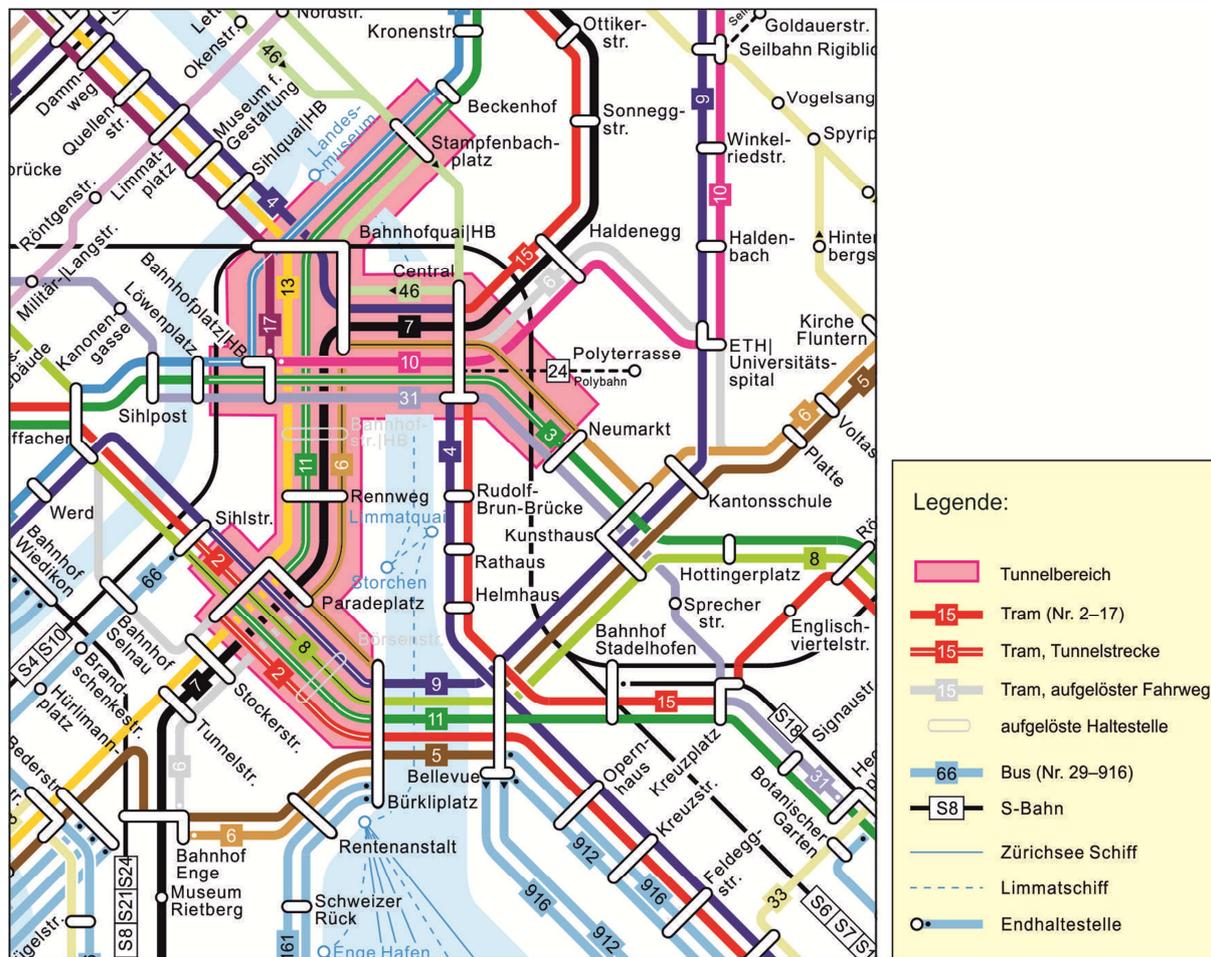
Oberirdisch geführte Linien	Unterirdisch geführte Linien
Linie 4, 5, 7, 10, 12, 13, 15, 17	Linie 2, 3, 6, 8, 9, 11, 14

Quelle: eigene Darstellungen, Abbildung 19

Zwischen Bürkliplatz und Paradeplatz werden alle Linien unterirdisch geführt und zusätzlich die Haltestelle Börsenstrasse aufgehoben. Ebenfalls aufgehoben wird die Haltestelle Bahnhofstrasse. Sie wird ersetzt durch die neue unterirdische Tramhaltestelle am Bahnhofquai.

In Abbildung 19 wird die vorgesehene Linienführung dargestellt. Der Tunnelbereich ist dabei mit Rot markiert. Die Tramstrecken mit Tunnelführung sind an der Markierung in Liniennitte zu erkennen. Aufgehobene Fahrwege und Haltestellen sind Grau gefärbt.

Abbildung 19 Variante 1: Tramtunnel, Liniennetzplan



Bildquelle: (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B), überarbeitet

Für die Umsetzung sind zusätzlich die folgenden Änderungen am bestehenden System nötig:

Neue Linienführung des Trams Nr. 6:

Verkehrt neu via Platte – Kantonsschule – Kunsthaus – Neumarkt – Central - Paradeplatz – Bürkliplatz – Rentenanstalt – Bahnhof Enge

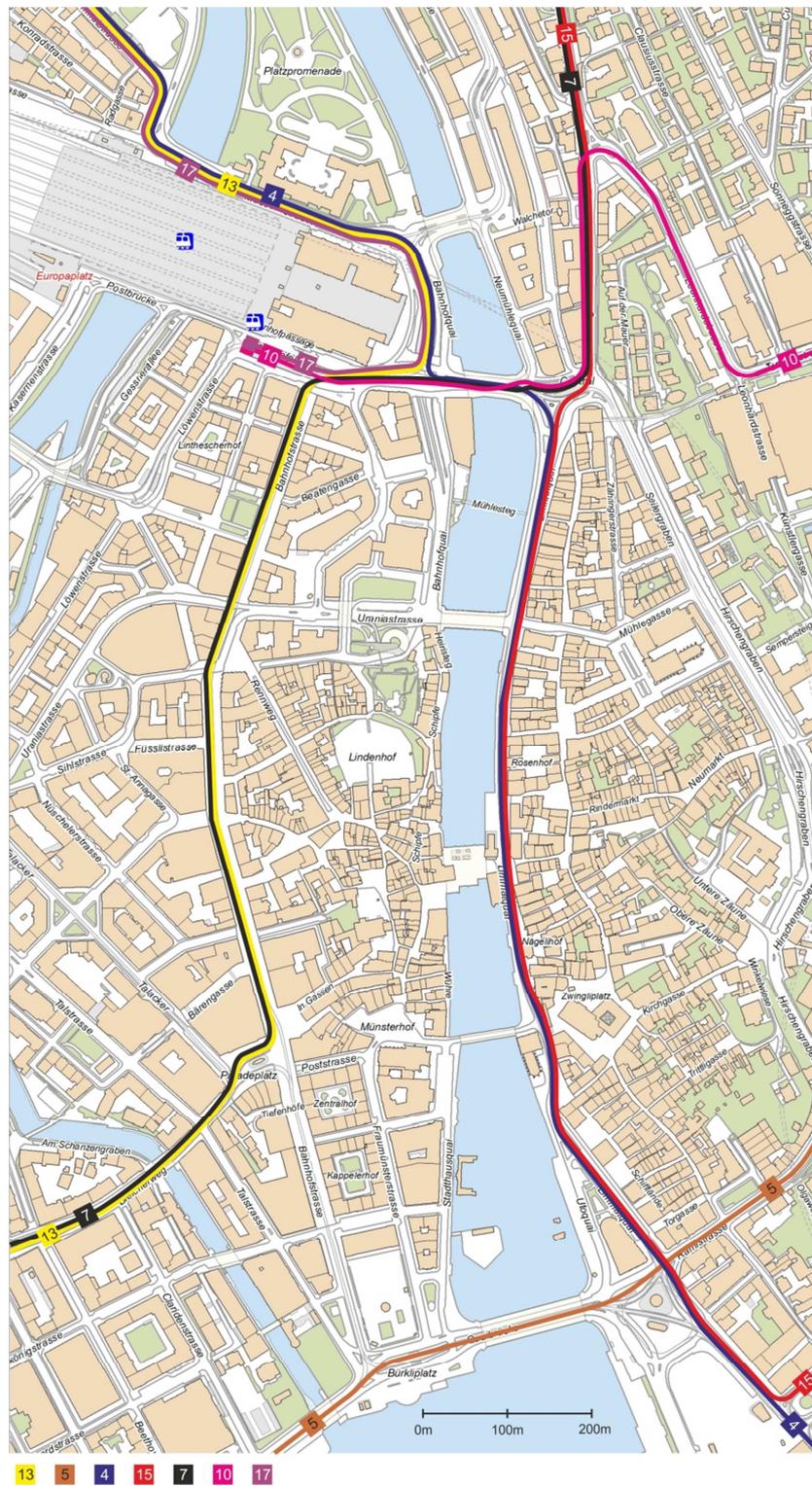
Neue Linienführung des Trams Nr. 8:

Verkehrt neu via Paradeplatz – Sihlstrasse – Stauffacher

Die Haltestelle am Bahnhof Selnau wird nur noch durch den Bus Nr. 66 bedient.

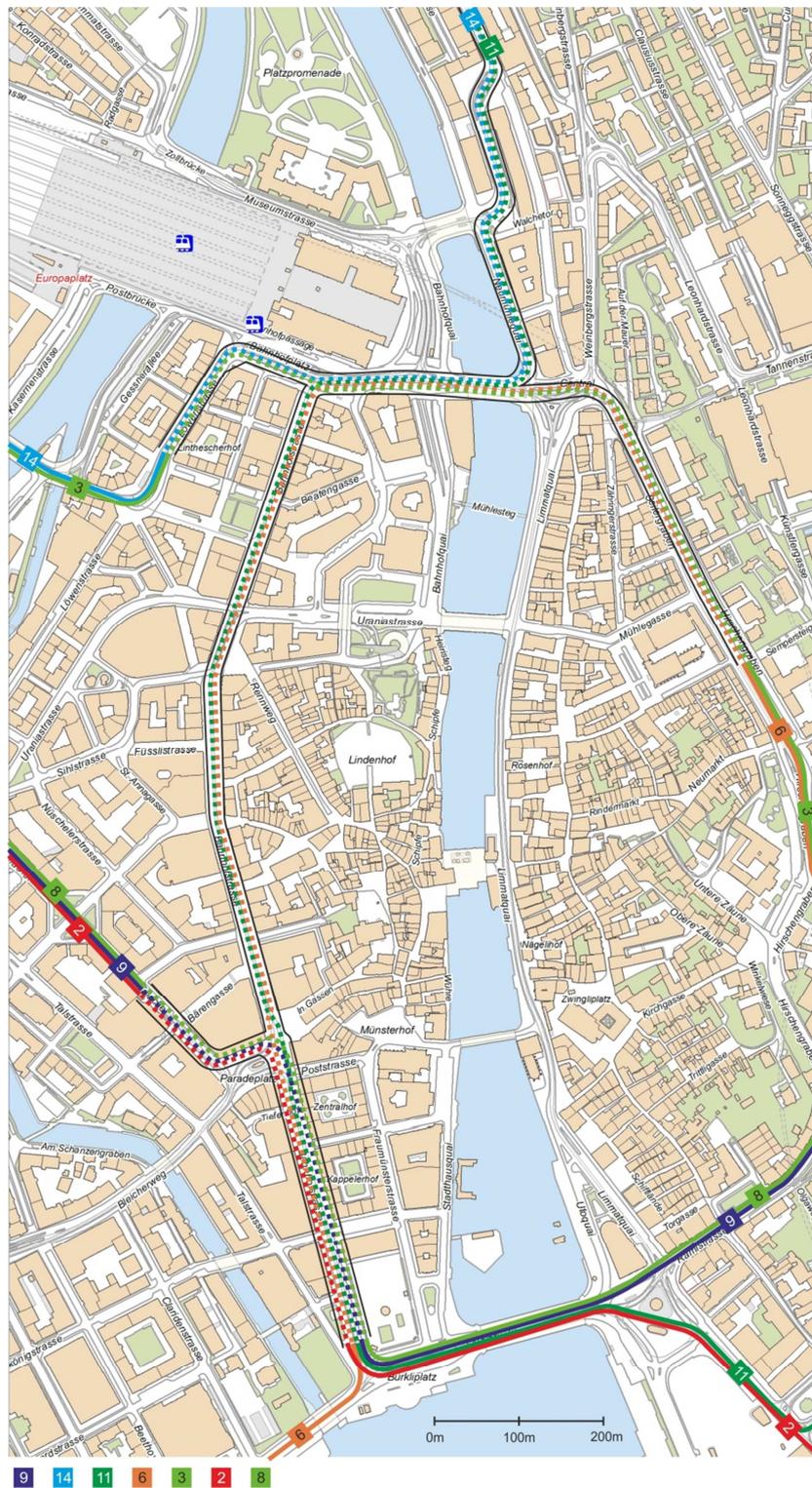
Die beiden folgenden Abbildungen zeigen im Stadtplan die Linienführung der Trams.

Abbildung 20 Variante 1: Tramtunnel, oberirdische Linienführung



Kartengrundlage: (Stadt Zürich, 2012)

Abbildung 21 Variante 1: Tramtunnel, unterirdische Linienführung



Kartengrundlage: (Stadt Zürich, 2012)

Infrastrukturelle Eigenschaften

Der Tramtunnel zeichnet sich durch seine kleine Ausdehnung und durch den geringen Eingriff in das bestehende Netz aus. In Tabelle 16 sind die wichtigsten Streckeneigenschaften zusammengestellt.

Tabelle 16 Variante 1: Tramtunnel, infrastrukturelle Eigenschaften

Eigenschaften	Einheit	Ganzes Tramnetz	
Netzlänge ¹	[km]	74.9	= 71.9 + 3.0
Strecke Neubau ¹	[km]	0.0	
Tunnelstrecke Neubau ¹	[km]	3.0	
Anzahl Haltestellen ²	Anzahl	189	= 191 - 2
Rückbau von Haltestellen ²	Anzahl	2	
Neubau von Haltestellen ²	Anzahl	0	
Neubau von U-Haltestellen ²	Anzahl	5	

Quellen:

¹ (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² eigene Darstellung, Abbildung 19

Qualitative Eigenschaften

Durch die unterirdische Führung einiger Linien und das Aufheben zweier Haltestellen kann eine Zeiterparnis erzielt werden. Die Auswirkungen auf die Reisegeschwindigkeit der Tramlinien ist in Tabelle 17 dargestellt. Die Grau hinterlegten Spalten zeigen die Daten des bestehenden Systems. Die gelben Felder zeigen die verbesserten Reisegeschwindigkeiten.

Tabelle 17 Variante 1: Tramtunnel, Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Fahrzeit ¹ [min]	Neue Fahrzeit ⁴ [min]	Streckenlänge ² [km]	Neue Streckenlänge ² [km]	Durchschn. Reisegeschwind. ³ [km/h]	Neue durchschn. Reisegeschwind. ³ [km/h]
2		Farbhof	Bhf Tiefenbrunnen	34.0	32.5	8.2	8.2	14.5	15.1
3		Albisrieden	Klusplatz	31.0	30.0	7.6	7.6	14.7	15.2
4		Altstetten Bhf N	Bhf Tiefenbrunnen	33.5	33.5	8.5	8.5	15.2	15.2
5		Kirche Fluntern	Laubegg	22.5	22.5	5.0	5.0	13.3	13.3
6		Zoo	Bahnhof Enge	25.5	25.5	5.7	6.4	13.4	15.0
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	42.5	42.5	12.6	12.6	17.8	17.8
8		Hardplatz	Klusplatz	24.0	22.5	5.6	5.6	14.0	14.9
9		Hirzenbach	Triemli	45.5	44.0	12.9	12.9	17.0	17.6
10		Fracht, Flughf. ZH	Bahnhofplatz HB	38.5	38.5	11.9	11.9	18.5	18.5
11		Auzelg	Rehalp	48.5	44.5	12.4	12.5	15.3	16.9
12		Fracht, Flughf. ZH	Bahnhof Stettbach	26.5	26.5	11.5	11.5	26.0	26.0
13		Frankental	Albisgütli	40.5	40.5	10.5	10.5	15.6	15.6
14		Seebach	Triemli	39.5	38.5	9.6	9.7	14.6	15.1
15		Bucheggplatz	Klusplatz	23.0	23	5.7	5.7	14.9	14.9
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	21.5	21.5	5.9	5.9	16.5	16.5

¹ (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B) Fahrzeit Mo-Fr um 8.00 Uhr, Mittel aus beiden Richtungen

² Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

³ Berechnet aus dem Quotienten der Streckenlänge und der Fahrzeit

⁴ Berechnet mit neuer Linienführung und Streckengeschwindigkeiten

Die grössten Verbesserungen werden auf den Linien 11 und 6 berechnet. Sie betragen über + 10%. Die Veränderungen der übrigen Reisegeschwindigkeiten liegt zwischen + 3.3 und + 6.7 %. Mit dieser Variante erreichen beinahe alle Linien die gewünschte durchschnittliche Reisegeschwindigkeit von 15 km/h und mehr.

In Tabelle 18 wird untersucht, welche Auswirkungen die Variante Tramtunnel auf den Trambetrieb hat. Zum einen wird die erforderliche Anzahl Kompositionen für den neuen Fahrplan ermittelt (Spalte „nachher“), zum anderen wird geprüft, ob sich die Taktzeit reduzieren lässt. Die Abschätzungen wurden gemäss Kapitel 5.1.1 auf Seite 65 durchgeführt.

Tabelle 18 Variante 1: Abschätzung des Kompositionsbedarfs und der Taktverkürzung

	Reisezeit ¹		Wendezeit ²		Umlaufzeit ³		Kompositionsbedarf pro Umlauf ⁴				Taktzeit
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	Veränderung	Neu für Takt- optimierung ⁵	
	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[-]	[-]	[-]	[-]	
2	68.0	65.0	7.0	10.0	75.0	75.0	10	10		10	7.2
3	62.0	60.0	13.0	7.5	75.0	67.5	10	9		10	6.7
4	67.0	67.0	8.0	8.0	75.0	75.0	10	10		10	7.4
5	45.0	45.0	7.5	7.5	52.5	52.5	7	7		7	7.4
6	51.0	51.0	9.0	9.0	60.0	60.0	8	8		8	7.3
7	85.0	85.0	12.5	12.5	97.5	97.5	13	13		13	7.1
8	48.0	45.0	12.0	7.5	60.0	52.5	8	7	-1	7	7.4
9	91.0	88.0	6.5	9.5	97.5	97.5	13	13		13	7.3
10	77.0	77.0	13.0	13.0	90.0	90.0	12	12		12	7.0
11	97.0	89.0	8.0	8.5	105.0	97.5	14	13		14	6.9
12	53.0	53.0	7.0	7.0	60.0	60.0	8	8	1	9	6.7
13	81.0	81.0	9.0	9.0	90.0	90.0	12	12		12	7.3
14	79.0	77.0	11.0	13.0	90.0	90.0	12	12		12	7.0
15	46.0	46.0	6.5	6.5	52.5	52.5	7	7		7	7.6
17	43.0	43.0	9.5	9.5	52.5	52.5	7	7		7	7.1
Anzahl Kompositionen vor-/nachher							151	148	mögl. Taktzeit		7.5 Min.

¹ Doppelte Fahrzeit gemäss Fahrplan in Tabelle 17

² Totale Wendezeit, zwischen 6 und 15 Minuten

³ Summe aus Fahrzeit und Wendezeit

⁴ Quotient aus Umlaufzeit und Taktzeit von 7.5 Minuten

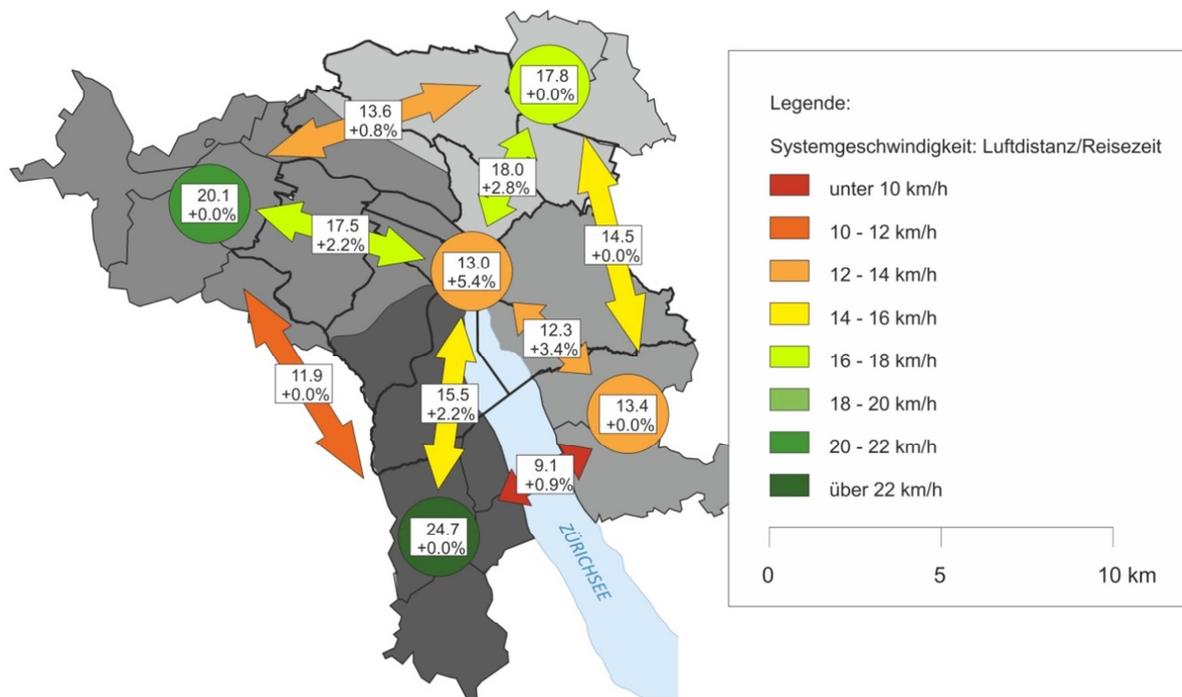
⁵ Kompositionsbedarf vorher addiert mit der Veränderung (Umverteilung der Kompositionen auf den Tramlinien für ausgeglichene Taktzeiten)

⁶ Quotient aus Umlaufzeit nachher und dem neuen Kompositionsbestand

Durch den Tramtunnel können aufgrund der Fahrzeiterparnis 3 Kompositionen eingespart werden. Die Taktzeit kann nicht über alle Linien reduziert werden, auf einzelnen könnte der Takt auf 7 Minuten statt 7.5 Minuten verringert werden.

Bei der Analyse der Systemgeschwindigkeitsveränderungen wurden nur die ausgewählten Verbindungen betrachtet. In Abbildung 22 sind die Mittelwerte der Systemgeschwindigkeiten pro Gebiet und Verbindung sowie die prozentuale Veränderung bezüglich des Ausgangszustands dargestellt.

Abbildung 22 Variante 1: Tramtunnel, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Die Systemgeschwindigkeit über das ganze System beträgt bei dieser Variante 15.4 km/h. Dies entspricht einer Verbesserung von rund + 1.3%.

Wirtschaftliche Eigenschaften

Die Investitionskosten der Variante 1 belaufen sich für die 3 km lange Tunnelstrecke gemäss Tabelle 13 auf 600 bis 750 Mio. Franken.

Die Produktionskosten wurden mit Tabelle 14 ermittelt. Die Berechnung ist in Tabelle 19 ersichtlich. Die Kosten belaufen sich auf rund 265'450 CHF pro Werktag. Gegenüber dem bisherigen Zustand entspricht dies einem Mehrbetrag von 0.7 %.

Tabelle 19 Variante 1: Tramtunnel, Berechnung der Produktionskosten

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Neue Streckenlänge ¹ [km]	Fahrten pro Tag ² [-]	Total Fahrplankilometer pro Tag ³ [km]	Produktionskosten pro Tag ⁴ [CHF]
2		Farbhof	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.2	142	1'164.4	17'466
3		Albisrieden	Klusplatz	7.6	142	1'079.2	16'188
4		Altstetten Bahnhof N	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.5	142	1'207.0	18'105
5		Kirche Fluntern	Laubegg	5.0	121	605.0	9'075
5		Kirche Fluntern	Bahnhof Enge	3.5	17	59.5	893
6		Zoo	Bahnhof Enge	6.4	108	691.2	10'368
6		Zoo	Hauptbahnhof	4.7	32	150.4	2'256
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	12.6	140	1'764.0	26'460
8		Hardplatz	Klusplatz	5.6	134	750.4	11'256
8		Hardplatz	Bellevue	3.6	20	72.0	1'080
9		Hirzenbach	Heuried (Triemli)	12.0	140	1'680.0	25'200
10		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhofplatz HB	11.9	97	1'154.3	17'315
10		Sternen Oerlikon	Bahnhofplatz HB	5.2	41	213.2	3'198
11		Auzelg	Rehalp	12.5	144	1'800.0	27'000
12		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhof Stettbach	11.5	72	828.0	12'420
12		Glattpark	Bahnhof Stettbach	6.5	4	26.0	390
13		Frankental	Albisgütli	10.5	142	1'491.0	22'365
14		Seebach	Triemli	9.7	139	1'348.3	20'225
15		Bucheggplatz	Klusplatz	5.7	138	786.6	11'799
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	5.9	140	826.0	12'390

¹ Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² Gemäss (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B), nur werktags, ganze Kurse

³ Berechnet aus Streckenlänge und Anzahl Fahrten pro Tag

⁴ Produkt aus 15 CHF/Tram-km, gemäss Tabelle 14, und Fahrplankilometern

5.1.3 Variante 2: Stadtbahn

Leitidee

Die Reisegeschwindigkeiten auf dem bestehenden Tramnetz können mit einem höheren Eigentrasseeanteil verbessert werden. Durch den Umbau der Tramlinien auf streckenweise unterirdisch geführte Stadtbahnen können höhere Streckengeschwindigkeiten gefahren werden. Besonders in der Innenstadt stellt die Umsetzung des eigenen Trassees ein Problem dar. Die Trams werden daher bereits frühzeitig in den Untergrund geführt. Die Tieferlegung bietet oberirdisch neuen, wertvollen Nutzungsraum direkt in der Innenstadt und erlaubt die Neugestaltung sowie eine neue Anordnung der Halte- und Umsteigepunkte.

Beschreibung

Im 10.3 km langen Tunnelsystem in der Zürcher Innenstadt werden die folgenden Strecken unterirdisch geführt:

- Löwenplatz – Hauptbahnhof – Neumarkt – Kunsthaus – Hottingerplatz
- Kantonsschule – Kunsthaus – Stadelhofen
- Beckenhof – Hauptbahnhof – Paradeplatz – Bürkliplatz – Stadelhofen – Feldeggstrasse
- Schaffhauserplatz – Ottikerstrasse – Haldenegg – Hauptbahnhof
- Kreuzplatz – Stadelhofen
- Bürkliplatz – Rentenanstalt – Bahnhof Enge
- Paradeplatz – Stockerstrasse – Bahnhof Enge
- Paradeplatz – Sihlstrasse
- Limmatplatz – Museum für Gestaltung – Hauptbahnhof

Als einzige oberirdische Strecke in der Innenstadt bleibt:

- Bellevue – Rathaus – Central – Haldenegg – Universitätsspital

In Abbildung 23 ist der Tunnelbereich in Gelb hervorgehoben.

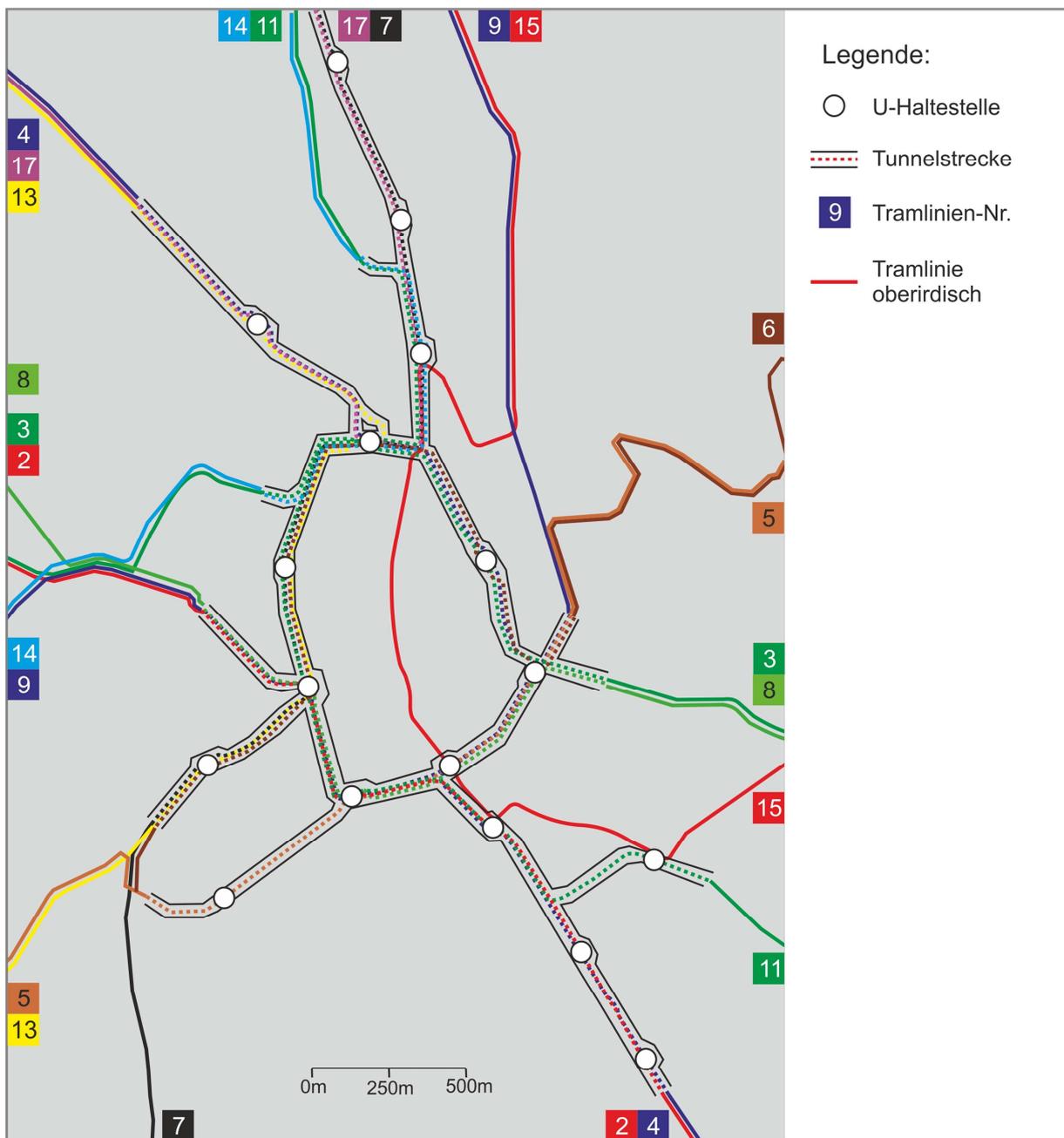
Abbildung 23 Variante 2: Stadtbahn, Tunnelbereich



Bildquelle: (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009), Ausschnitt Stadt Zürich überarbeitet

Bis auf die Linie 15 werden alle Trams unterirdisch durch den Stadtbahntunnel geführt. In Abbildung 24 ist die geplante Linienführung dargestellt. Die unterirdischen Haltestellen sind mit einem Kreis markiert. Die oberirdischen Haltestellen werden nicht dargestellt.

Abbildung 24 Variante 2: Stadtbahn, Linien- und Haltestellenübersicht



Bildquelle: eigene Darstellung

Die Umsetzung der Stadtbahn bedingt die folgenden Änderungen am bestehenden Tramnetz:

Neue Linienführung des Trams Nr. 4

Die unterirdische Streckenführung bedingt, dass das Tram Nr. 4 neu via Neumarkt und Kunsthaus verkehrt.

Limmatplatz – Hauptbahnhof – Neumarkt – Kunsthaus – Bellevue – Stadelhofen – Feldeggstrasse – Höschgasse

Neue Linienführung des Trams Nr. 6:

Verkehrt neu via Platte – Kantonsschule – Kunsthaus – Neumarkt – Hauptbahnhof – Paradeplatz – Stockerstrasse – Bahnhof Enge

Neue Linienführung des Trams Nr. 8:

Verkehrt neu via Paradeplatz – Sihlstrasse – Stauffacher

Die Haltestelle am Bahnhof Selnau wird nur noch durch den Bus Nr. 66 bedient.

Neue Linienführung des Trams Nr. 10/17

Verkehrt zwischen Hauptbahnhof und Schaffhauserplatz auf der bisherigen Strecke der Linie 15. Ausserdem werden die Linien 17 und 10 zu einer Tramlinie zusammengeschlossen. Die Route der Linie 17 wird beibehalten.

Verkehrt entlang der Linie 17 – Limmatplatz – Hauptbahnhof – Haldenegg – Sonneggstrasse – Röslistrasse – Schaffhauserplatz – Milchbuck – weiter entlang der Linie 10

Neue Linienführung des Trams Nr. 15

Verkehrt neu ab Haldenegg wie die Linie 10 bis Milchbuck.

Klusplatz – Stadelhofen – Bellevue – Helmhaus – Rathaus – Central – Haldenegg – ETH / Universitätsspital – Milchbuck – Bucheggplatz

Unter Berücksichtigung der geplanten Tramstrecke zwischen Milchbuck und Bucheggplatz (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 C) wird die Streckenverlängerung der Linie 15 zum Bucheggplatz vorgesehen.

Die Anzahl der Haltestellen wird reduziert und ihre Abstände reguliert. Die folgende Tabelle zeigt die geplanten U-Haltestellen und die rückzubauenden oberirdischen Haltepunkte. Einige Haltestellen werden für den Trambetrieb ersatzlos aufgehoben, da die Haltestellendistanzen bereits bei rund 500m liegen.

Tabelle 20 Variante 2: Stadtbahn, Haltestellen

Neu zu erstellende U-Haltestellen (18)	Für den Rückbau vorgesehene oberirdische Haltestellen (21)
Röslistrasse	Röslistrasse
Ottikerstrasse	Ottikerstrasse
Sonneggstrasse	Sonneggstrasse
Haldenegg	Wird von Linie 15 bedient
Kein Ersatz	Stampfenbachplatz
Kein Ersatz	Museum für Gestaltung
Sihlquai / HB	Sihlquai / HB
Hauptbahnhof	Bahnhofquai/HB Bahnhofplatz/HB Bahnhofstrasse/HB
Rennweg	Rennweg
Paradeplatz	Paradeplatz
Stockerstrasse	Stockerstrasse
Kein Ersatz	Tunnelstrasse
Kein Ersatz	Börsenstrasse
Bürkliplatz	Bürkliplatz
Rentenanstalt	Rentenanstalt
Bellevue	Wird von Linie 15 bedient
Stadelhofen	Wird von Linie 15 bedient
Kein Ersatz	Opernhaus
Kreuzstrasse	Kreuzstrasse
Feldeggstrasse	Feldeggstrasse
Kreuzplatz	Wird von Linie 15 bedient
Kunsthau	Kunsthau
Neumarkt	Neumarkt

Quelle: eigene Darstellungen, Abbildung 24

Infrastrukturelle Eigenschaften

Tabelle 21 zeigt die Zusammenfassung der baulich erforderlichen Veränderungen am bestehenden System.

Tabelle 21 Variante 2: Stadtbahn, infrastrukturelle Eigenschaften

Eigenschaften	Einheit	Ganzes Stadtbahnnetz	
Netzlänge ¹	[km]	71.4	= 71.9 + 10.3 – 10.8
Strecke Neubau ¹	[km]	0.0	
Tunnelstrecke Neubau ¹	[km]	10.3	
Rückbau Strecken ¹	[km]	10.8	
Anzahl Haltestellen ²	Anzahl	188	= 191 – 21 + 18
Rückbau von Haltestellen ²	Anzahl	21	
Neubau von Haltestellen ²	Anzahl	0	
Neubau von U-Haltestellen ²	Anzahl	18	

Quellen:

¹ (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² eigene Darstellung, Abbildung 24 und Tabelle 20

Durch den Rückbau beziehungsweise die Stilllegung der oberirdischen Strecken ist weniger Unterhalt erforderlich, da Strecken nicht zusätzlich zum Tunnel in Betrieb bleiben wie bei Variante 1. Dadurch reduzieren sich die Produktionskosten gegenüber Variante 1 um einen kleinen Betrag, wie nachfolgend gezeigt wird. Die freiwerdenden Flächen können zukünftig für andere Nutzungen verwendet werden. In der Bahnhofstrasse bietet sich beispielsweise die Umgestaltung in eine Fussgängerzone an.

Qualitative Eigenschaften

Die neuen Reisezeiten der einzelnen Tramlinien sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Die Reisezeiten, welche Gelb hinterlegt sind wurden durch die Massnahmen verbessert, die Rot hinterlegte verschlechtert, Weisse blieb unverändert.

Tabelle 22 Variante 2: Stadtbahn, Fahrzeiten und Streckenlänge der Tramlinien

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Fahrzeit ¹ [min]	Neue Fahrzeit ⁴ [min]	Streckenlänge ² [km]	Neue Streckenlänge ² [km]	Durchschn. Reiseschwindigkeit ³ [km/h]	Neue durchschn. Reiseschwindigkeit ³ [km/h]
2		Farbhof	Bhf Tiefenbrunnen	34.0	29.5	8.2	8.2	14.5	16.7
3		Albisrieden	Klusplatz	31.0	28.5	7.6	7.8	14.7	16.4
4		Altstetten Bhf N	Bhf Tiefenbrunnen	33.5	28.0	8.5	8.6	15.2	18.4
5		Kirche Fluntern	Laubegg	22.5	20.5	5.0	5.0	13.3	14.6
6		Zoo	Bahnhof Enge	25.5	22.5	5.7	6.0	13.4	15.9
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	42.5	39.5	12.6	12.6	17.8	19.1
8		Hardplatz	Klusplatz	24.0	18.5	5.6	5.4	14.0	17.4
9		Hirzenbach	Triemli	45.5	41.5	12.9	12.9	17.0	18.7
10		Fracht, Flughf. ZH	Bahnhofplatz HB	38.5	28.0	11.9	10.1	18.5	21.5
11		Auzelg	Rehalp	48.5	41.0	12.4	12.4	15.3	18.2
12		Fracht, Flughf. ZH	Bahnhof Stettbach	26.5	26.5	11.5	11.5	26.0	26.0
13		Frankental	Albisgütli	40.5	35.5	10.5	10.9	15.6	17.8
14		Seebach	Triemli	39.5	36.5	9.6	9.6	14.6	15.8
15		Bucheggplatz	Klusplatz	23.0	27.0	5.7	6.7	14.9	14.8
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	21.5	17.0	5.9	5.7	16.5	19.9

¹ (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B) Fahrzeit Mo-Fr um 8.00 Uhr, Mittel aus beiden Richtungen

² Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

³ Berechnet aus dem Quotienten der Streckenlänge und der Fahrzeit

⁴ Berechnet mit neuer Linienführung und Streckengeschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten der Linien 5, 7, 9 und 14 konnten zwischen 6.1 und 9.8% zulegen. Die Linien 2, 3, 6, 10, 11 und 13 erreichten eine Verbesserung zwischen 11.6 und 18.7%. Die Linien 4, 8 und 17 konnten durch die Massnahmen sogar um über 20% an Reiseschwindigkeit zulegen. Die Tramlinie 15 wurde durch die neue Linienführung etwas verlangsamt, der Unterschied zur bestehenden Reiseschwindigkeit beträgt jedoch nur -0.6%. Alle Strecken bis auf die Linie 5 weisen mit dieser Variante nun Reiseschwindigkeiten über 15 km/h auf. Die meisten Trams liegen sogar bei über 17km/h.

Mit den neuen Fahrzeiten können bedeutend mehr Fahrzeugkompositionen eingespart werden. In Tabelle 23 wird die Abschätzung der erforderlichen Kompositionen pro Linie durchgeführt (Spalte „nachher“). Als zweite Abschätzung wird die mögliche Taktzeit, ausgehend vom bestehenden Kompositionsbestand (Spalte „vorher“ + „Veränderung“), ermittelt. Die Berechnungen wurden gemäss den Annahmen in Kapitel 5.1.1 auf Seite 65 durchgeführt.

Tabelle 23 Variante 2: Abschätzung des Kompositionsbedarfs und der Taktverkürzung

	Reisezeit ¹		Wendezeit ²		Umlaufzeit ³		Kompositionsbedarf pro Umlauf ⁴				Taktzeit
	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	vorher	nachher	Veränderung	Neu für Takt-optimierung ⁵	
	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[-]	[-]	[-]	[-]	
2	68.0	59.0	7.0	8.5	75.0	67.5	10	9		10	6.6
3	62.0	57.0	13.0	10.5	75.0	67.5	10	9		10	6.4
4	67.0	56.0	8.0	11.5	75.0	67.5	10	9		10	6.3
5	45.0	41.0	7.5	11.5	52.5	52.5	7	7		7	6.9
6	51.0	45.0	9.0	7.5	60.0	52.5	8	7		8	6.5
7	85.0	79.0	12.5	11.0	97.5	90.0	13	12		13	6.6
8	48.0	37.0	12.0	8.0	60.0	45.0	8	6	-1	7	6.3
9	91.0	83.0	6.5	7.0	97.5	90.0	13	12	1	14	6.4
10	77.0	56.0	13.0	11.5	90.0	67.5	12	9	-2	10	6.3
11	97.0	82.0	8.0	8.0	105.0	90.0	14	12		14	6.4
12	53.0	53.0	7.0	7.0	60.0	60.0	8	8	1	9	6.7
13	81.0	71.0	9.0	11.5	90.0	82.5	12	11		12	6.5
14	79.0	73.0	11.0	9.5	90.0	82.5	12	11		12	6.7
15	46.0	54.0	6.5	6.0	52.5	60.0	7	8	2	9	6.8
17	43.0	34.0	9.5	11.0	52.5	45.0	7	6	-1	6	6.8
Anzahl Kompositionen vor-/nachher							151	136	mögl. Taktzeit		7.0 Min.

¹ Doppelte Fahrzeit gemäss Fahrplan in Tabelle 17

² Totale Wendezeit, zwischen 6 und 15 Minuten

³ Summe aus Fahrzeit und Wendezeit

⁴ Quotient aus Umlaufzeit und Taktzeit von 7.5 Minuten

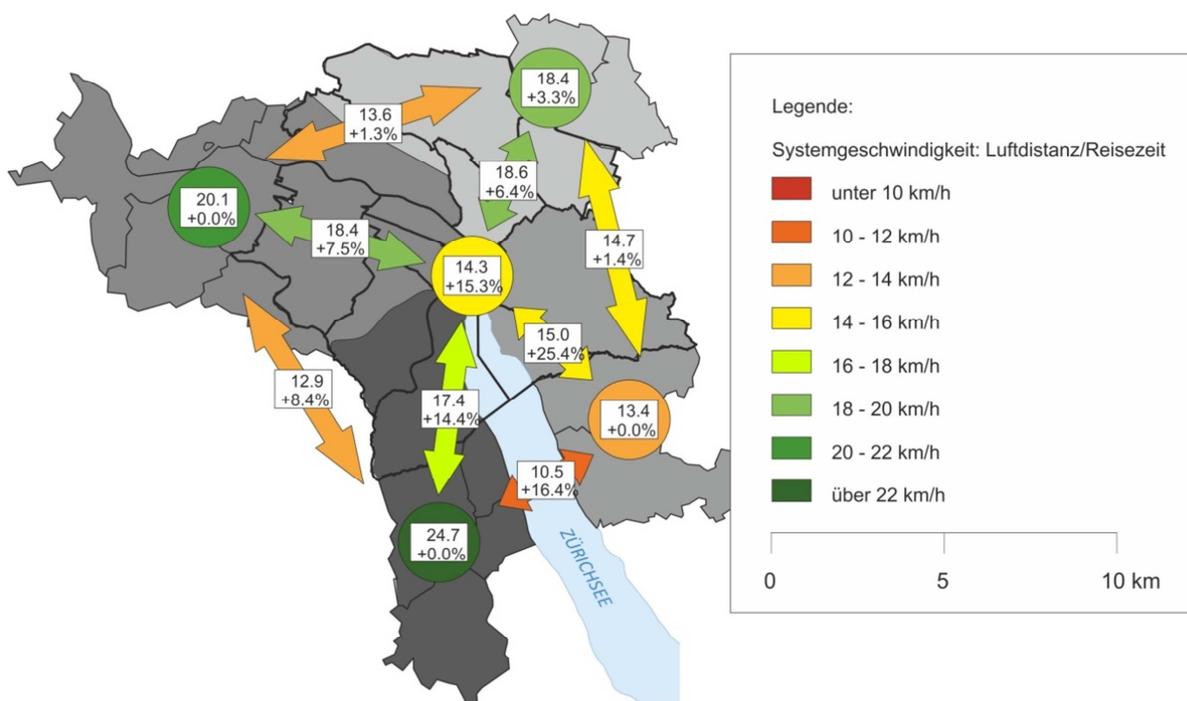
⁵ Kompositionsbedarf vorher addiert mit der Veränderung (Umverteilung der Kompositionen auf den Tramlinien für ausgeglichene Taktzeiten)

⁶ Quotient aus Umlaufzeit nachher und dem neuen Kompositionsbestand

Die Fahrzeiterparnis der Variante Stadtbahn bewirkt beim Kompositionsbedarf eine Reduktion von 15 Kompositionen, wenn mit einer Taktzeit aller Linien von 7.5 Minuten gefahren wird. Mit dem berechneten aktuellen Kompositionsbestand kann mit Umverteilung der Kompositionen auf allen Linien ein Takt von 7 Minuten (8.6 Fahrten pro Stunde) umgesetzt werden. Ein 7 Minuten-Takt ist jedoch unpraktisch, da sich die Nutzer die Fahrplanzeiten nicht merken können. Würde der Takt weiter reduziert werden, auf beispielsweise 6 Minuten (10 Fahrten pro Stunde), wäre dies wiederum kein Problem.

Die Analyse der Systemgeschwindigkeiten zeigt ebenfalls gute Resultate. Sie konnte sich im Durchschnitt über die ganze Stadt Zürich in den ausgewählten Verbindungen auf 16.3 km/h verbessern, was einem Plus von 7.5% entspricht. Abbildung 25 zeigt die Mittelwerte der Systemgeschwindigkeiten und ihre Veränderung bezüglich des bestehenden Zustands.

Abbildung 25 Variante 2: Stadtbahn, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Besonders in der Innenstadt und bei den Verbindungen der umliegenden Gebiete zum Zentrum konnten Verbesserungen verzeichnet werden. Die schlechtesten Verbindungen sind nun Zürich Nord - Zürich West und Zürich West – Zürich Süd-West sowie die Verbindungen zwischen Linkem und Rechtem Ufer des Zürichsees. Die Gebiete mit den schlechtesten Systemgeschwindigkeiten sind Zürich Innenstadt und Zürich Süd-Ost.

Wirtschaftliche Eigenschaften

Die Investitionskosten der Variante 2 belaufen sich für die rund 11 km lange Tunnelstrecke gemäss Tabelle 13 auf 2,2 bis 2,75 Mrd. Franken.

Die Produktionskosten für einen gewöhnlichen Werktag wurden mit Tabelle 14 berechnet. Die Resultate sind Tabelle 24 zu entnehmen. Die Produktionskosten belaufen sich auf total rund 263'770 CHF pro Werktag. Gegenüber dem bestehenden System entspricht dies einer Erhöhung von weniger als 0.1%.

Tabelle 24 Variante 2: Stadtbahn, Berechnung der Produktionskosten

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Neue Streckenlänge ¹ [km]	Fahrten pro Tag ² [-]	Total Fahrplankilometer pro Tag ³ [km]	Produktionskosten pro Tag ⁴ [CHF]
2		Farbhof	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.2	142	1'164.4	17'466
3		Albisrieden	Klusplatz	7.8	142	1'107.6	16'614
4		Altstetten Bahnhof N	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.6	142	1'221.2	18'318
5		Kirche Fluntern	Laubegg	5.0	121	605.0	9'075
5		Kirche Fluntern	Bahnhof Enge	3.5	17	59.5	893
6		Zoo	Bahnhof Enge	6.0	108	648.0	9'720
6		Zoo	Hauptbahnhof	4.3	32	137.6	2'064
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	12.9	140	1'806.0	27'090
8		Hardplatz	Klusplatz	5.4	134	723.6	10'854
8		Hardplatz	Bellevue	3.4	20	68.0	1'020
9		Hirzenbach	Heuried (Triemli)	12.0	140	1'680.0	25'200
10		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhofplatz HB	10.1	97	979.7	14'696
10		Sternen Oerlikon	Bahnhofplatz HB	3.4	41	139.4	2'091
11		Auzelg	Rehalp	12.4	144	1'785.6	26'784
12		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhof Stettbach	11.5	72	828.0	12'420
12		Glattpark	Bahnhof Stettbach	6.5	4	26.0	390
13		Frankental	Albisgütli	10.9	142	1'547.8	23'217
14		Seebach	Triemli	9.6	139	1'334.4	20'016
15		Bucheggplatz	Klusplatz	6.7	138	924.6	13'869
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	5.7	140	798.0	11'970

¹ Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² Gemäss (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B), nur werktags, ganze Kurse

³ Berechnet aus Streckenlänge und anzahl Fahrten pro Tag

⁴ Produkt aus 15 CHF/Zugs-km, gemäss Tabelle 14, und Fahrplankilometern

5.1.4 Variante 3: U-Bahn

Leitidee

Auf lange Sicht wird sich Zürich weiter vergrössern. Die Erschliessung der neuen Quartiere und Gemeinden kann nicht unbegrenzt durch das Tram erfolgen. Die Folge sind zusätzliche Umsteigevorgänge vom lokalen ÖV-Netz auf die S-Bahn und dadurch längere Reisezeiten. Zur optimalen Erschliessung ist eine weitere Produktstufe zwischen Tram und S-Bahn geeignet. Zu diesem Zweck soll ein U-Bahnssystem mit drei Linien geplant werden, welches die Agglomerationen mit einander und mit dem Stadtzentrum verbindet.

Beschreibung

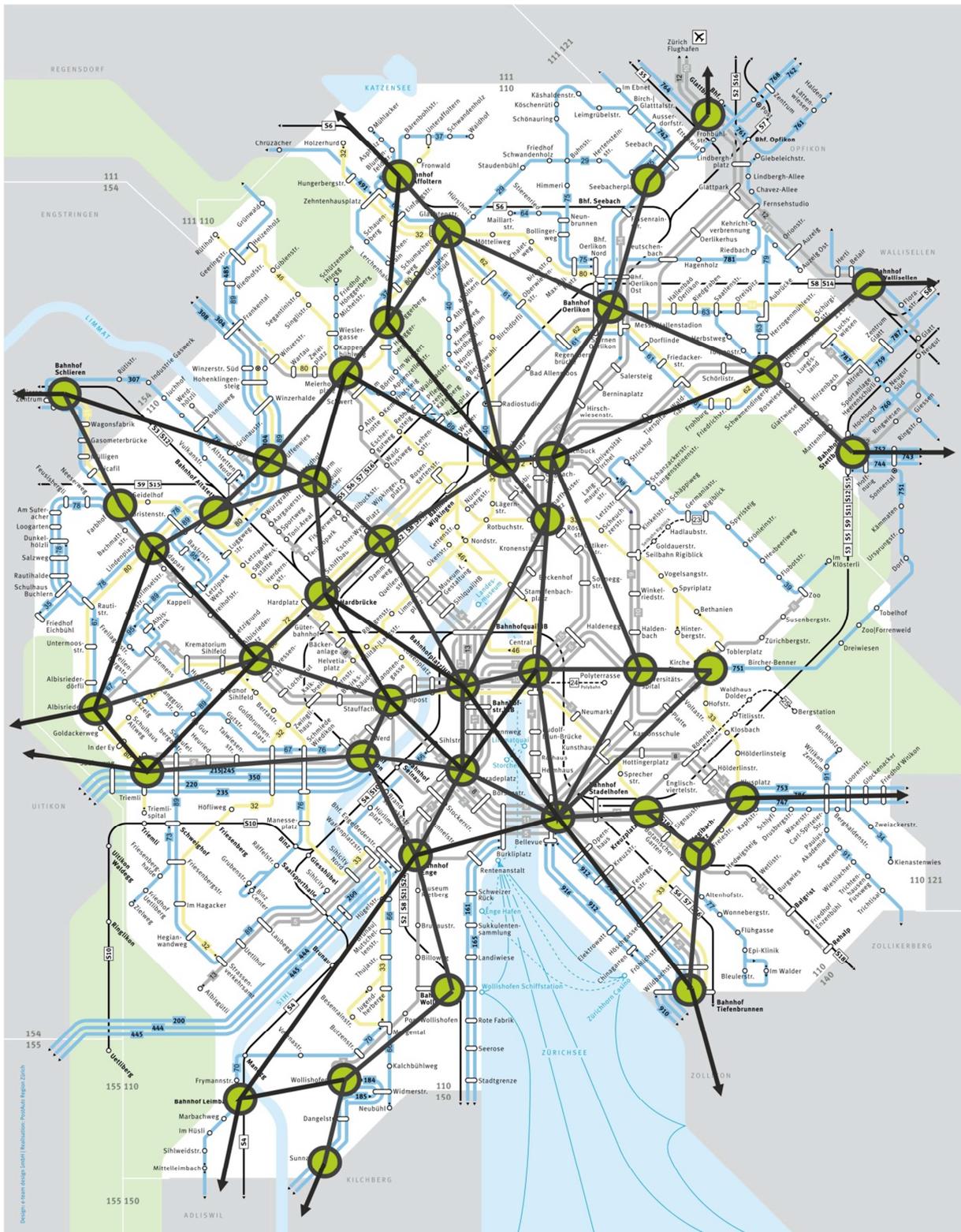
Die U-Bahnlinien sollen die bestehenden Tramlinien nur teilweise ersetzen aber vor allem entlasten. Die Abstände der U-Bahnhaltestellen werden statt alle 350m alle 1'000 bis 1'500m angeordnet. Das Tram erhält somit die Funktion der Feinerschliessung entlang der U-Bahnachsen.

Die Entwicklung der U-Bahnvariante wird in Abbildung 26 gezeigt.

Zunächst wurden die Systemhaltepunkte und weiteren Haltepunkte im Netz definiert. Mögliche Verbindungen wurden ermittelt und ebenfalls in die Grafik übertragen. Des Weiteren wurde bei Haltestellen am Stadtrand die weitere Erschliessung der Nachbargemeinden erwogen.

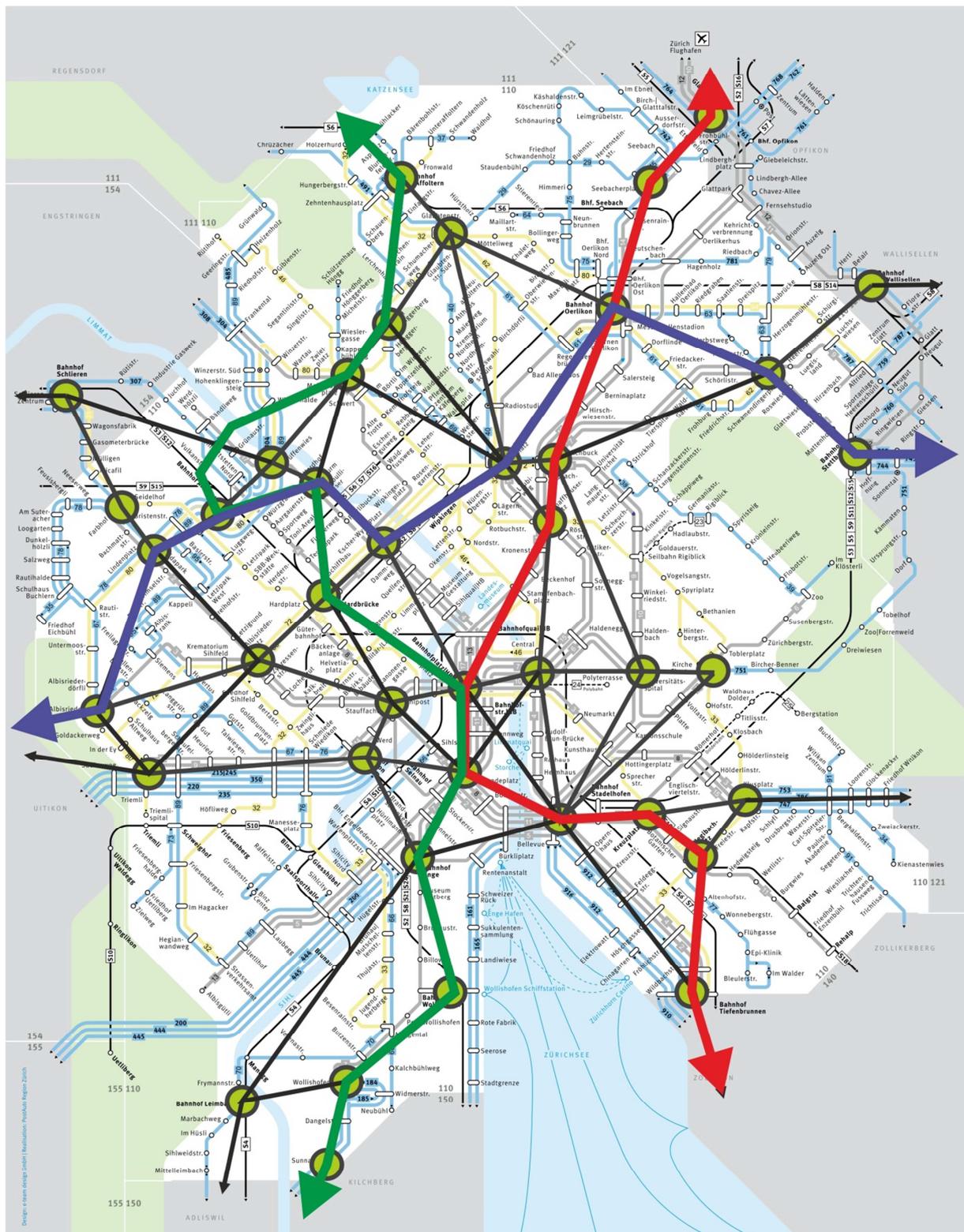
Als Resultat verschiedener Varianten ergaben sich die in Abbildung 27 dargestellten Linien.

Abbildung 26 Variante 3: Entwicklung



Bildquelle: (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B), überarbeitet

Abbildung 27 Variante 3: Linienwahl



Bildquelle: (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 B), überarbeitet

Die U-Bahn erschliesst somit die folgenden Agglomerationen:

Linie A (Rot):

Kloten – Opfikon – Stadt Zürich – Zollikon – Küsnacht

Linie B (Blau):

Birmensdorf – Uitikon – Stadt Zürich – Dübendorf

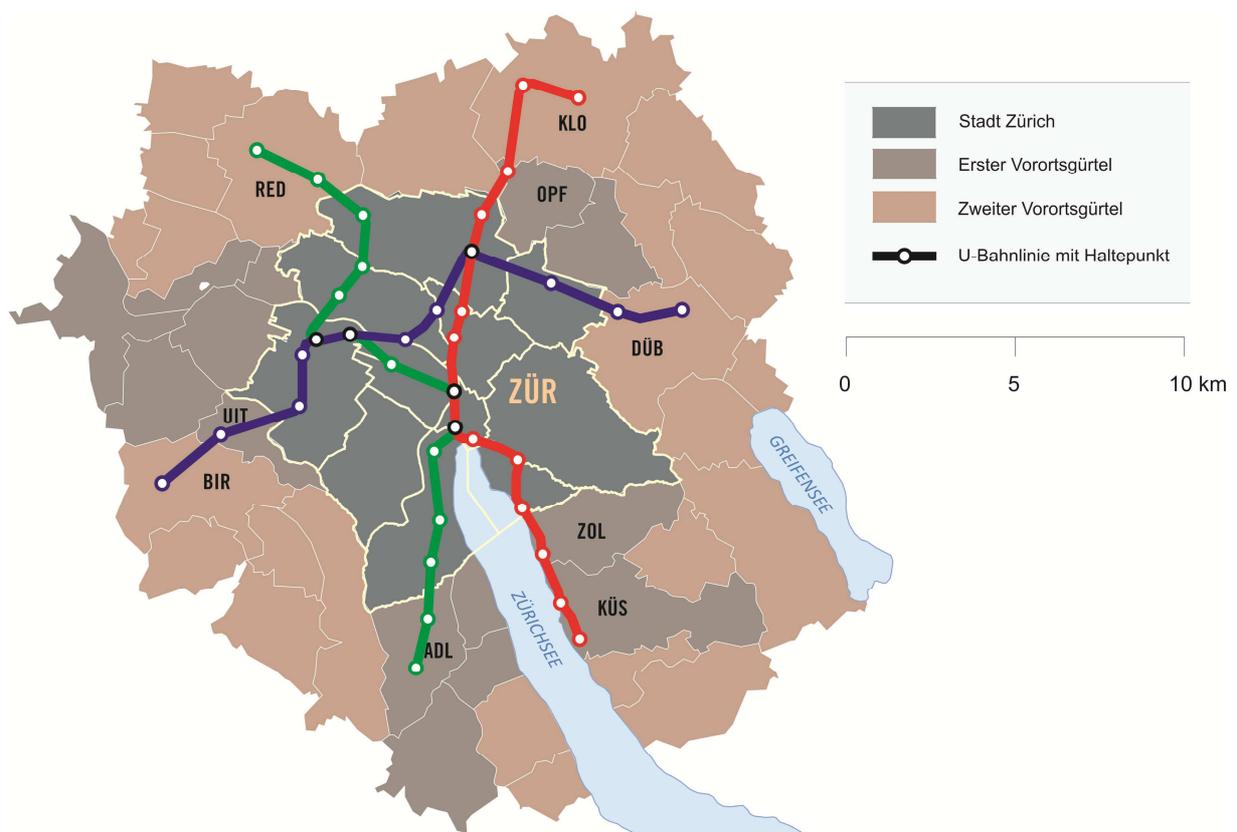
Linie C (Grün):

Regensdorf – Stadt Zürich – Adliswil

Der Korridor Altstetten – Schlieren – Dietikon wird nicht durch die U-Bahn erschlossen, da diese Verbindung bereits sehr gut durch die S-Bahn abgedeckt wird.

Eine Übersicht des U-Bahnnetzes ist in Abbildung 28 ersichtlich. Der Liniennetzplan ist dem Anhang A7 Liniennetzplan Variante 3 U-Bahn zu entnehmen.

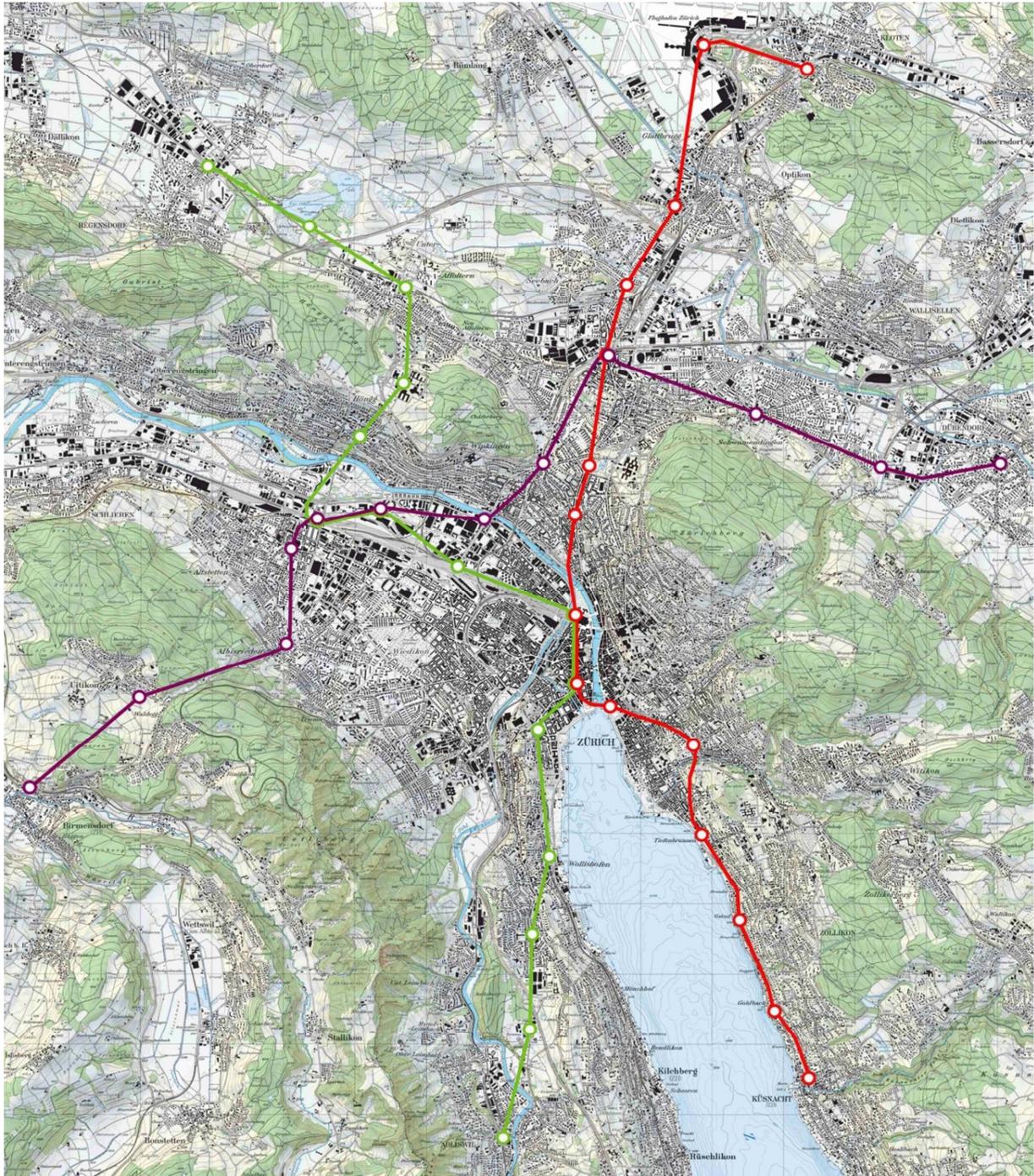
Abbildung 28 Variante 3: U-Bahn, Übersicht



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Abbildung 29 zeigt die Linienführung des U-Bahnnetzes auf der Landkarte.

Abbildung 29 Variante 3: U-Bahn, Linienführung



Kartengrundlage: (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

Infrastrukturelle Eigenschaften

Die Streckenlängen und Haltestellen der U-Bahnlinien sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Tabelle 25 Variante 3: U-Bahn, infrastrukturelle Eigenschaften

Eigenschaften	Total Liniennetz ⁴	Linie Rot Kloten – Küsnacht	Linie Blau Dübendorf – Birmensdorf	Linie Grün Regensdorf - Adliswil
Länge der Strecken ¹ [km]	52.6	18.1	17.5	19.1
Anteil Tunnelstrecke ¹ [km]	37.6	13.7	12.9	12.2
Anteil Eigentrassee ¹ [km]	15.0	4.4	4.6	6.9
Anzahl Haltestellen ²	37	15	12	15

Quellen:

¹ (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

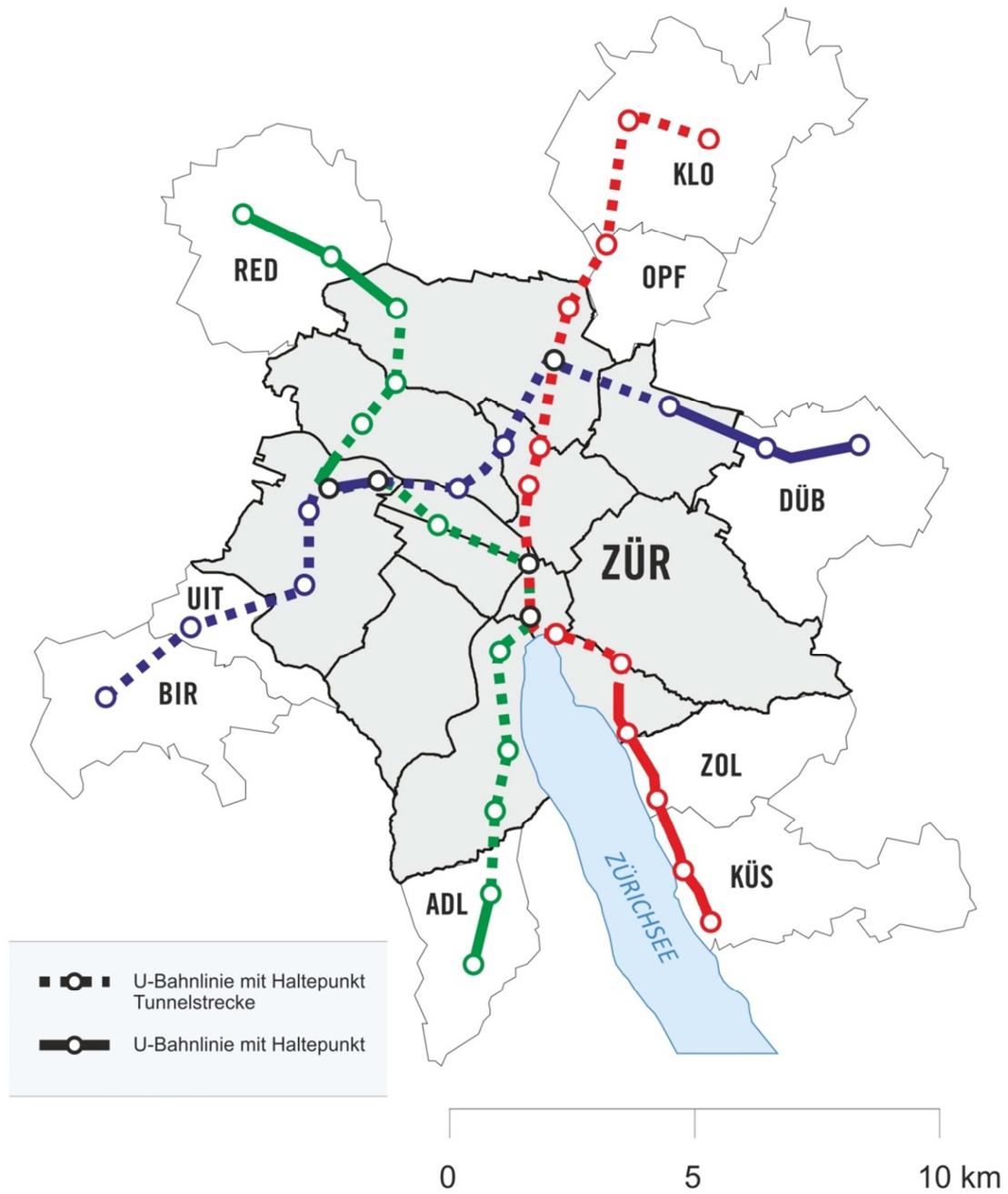
² eigene Darstellung, Abbildung 26

³ Berechnet aus Anzahl Haltestellen und Länge der Linie: $\frac{L_{Total}}{N-3} = d_{Haltestelle}$ und $\frac{L_{Linie}}{N-1} = d_{Haltestelle}$

⁴ tatsächliche Anzahl Haltestellen und Streckenlänge im Netz

Das U-Bahnsystem hat damit eine Länge von 52.6 km und ist über 37.6 km unterirdisch geführt. Die unterirdischen und oberirdischen Streckenabschnitte sind nachfolgend in Abbildung 30 dargestellt.

Abbildung 30 Variante 3: U-Bahn, oberirdische und unterirdische Streckenabschnitte



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Qualitative Eigenschaften

Die Reisegeschwindigkeit der U-Bahnlinien lässt sich aus Fahrzeit und den Streckenlängen berechnen. In Tabelle 26 sind diese Werte festgehalten. Zusätzlich ist in der Tabelle die Anzahl Haltestellen und damit der mittlere Haltestellenabstand gegeben.

Tabelle 26 Variante 3:U-Bahn, Fahrzeiten und Streckenlängen

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Fahrzeit ¹ [min]	Streckenlänge ² [km]	durchschn. Reise- geschwind. ³ [km/h]	Anzahl Haltestellen ⁴	Mittlerer Haltestellen- abstand ⁵ [m]
A		Küsnacht	Kloten	28.0	18.1	38.8	15	1'295
B		Dübendorf	Birmensdorf	24.0	17.5	43.8	12	1'590
C		Regensdorf	Adliswil	28.0	19.1	41.0	15	1'365

¹ Berechnet mit Streckengeschwindigkeit 100 km/h und Beschleunigungs-/Bremsvermögen von 1 m/s²

² Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

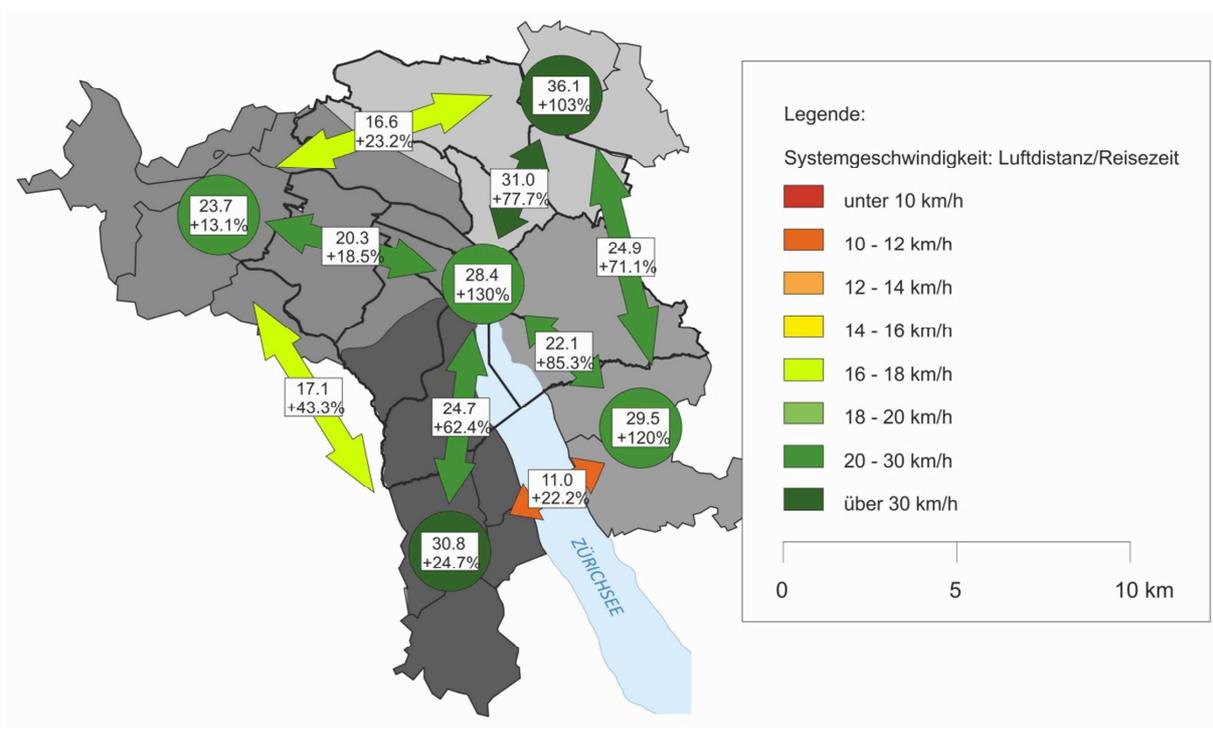
³ Berechnet aus dem Quotienten der Streckenlänge und der Fahrzeit

⁴ Gemäss eigener Darstellung, Abbildung 26

⁵ Berechnet aus Anzahl Haltestellen und Länge der Linie: $\frac{L_{\text{Linie}}}{N-1} = d_{\text{Haltestelle}}$

Die Systemgeschwindigkeiten der Strecken mit U-Bahnabschnitten werden bedeutend grösser. Dies ist an der globalen Systemgeschwindigkeit über die ausgewählten Verbindungen der Stadt Zürich erkennbar. Sie beträgt 23.2 km/h, dies entspricht gegenüber dem bestehenden Netz einem Plus von 52.9%. Nahezu alle Verbindungen erreichen mit dieser Variante Systemgeschwindigkeiten von über 20 km/h, wie Abbildung 31 zeigt.

Abbildung 31 Variante 3: U-Bahn, Systemgeschwindigkeiten, Mittelwerte und Veränderung



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

Die schlechtesten Verbindungen in dieser Variante bestehen zwischen Zürich Nord und Zürich West sowie zwischen Zürich West und Zürich Süd-West. Die Verbindung über den Zürichsee kann auch mit der U-Bahn nicht erheblich verbessert werden. Dazu müsste eine Verbindung unter dem See hindurch geführt werden.

Die Systemgeschwindigkeiten innerhalb der Gebiete erreichen mit Variante 3 Werte über 23 km/h. Dies ist gegenüber dem bestehenden System eine erhebliche Verbesserung.

Wirtschaftliche Eigenschaften

Die Investitionskosten der U-Bahn sind zusammengesetzt aus Kosten für die Tunnel- und für die oberirdischen Strecken mit Eigentrassee.

Für die rund 38 km lange Tunnelstrecke wird mit einem Betrag von 7,6 bis 9,5 Mrd. Franken gerechnet. Die rund 15 km Eigentrassee-Strecke wird auf 0.525 bis 0.6 Mrd. Franken geschätzt. Die Investitionskosten des Projektes sind im Bereich von 8,125 bis 10,1 Mrd. Franken. Für die Berechnung wurden die Ansätze aus Tabelle 13 verwendet.

Bei der Neuerstellung des U-Bahnsystems ist auch die Beschaffung von passendem Rollmaterial notwendig. Pro U-Bahnzug wird mit Kosten von 40'000 bis 45'000 CHF pro Sitzplatz gerechnet (Weidmann, 2011 A) Kapitel 3, Seite 138/143. Für die Kostenabschätzung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Drei Linien
- Rund 30 Minuten Fahrzeit Pro Linie und Richtung
- 10 Minuten-Takt
- Berechnung der Kompositionszahl:

$$\text{Kompositionszahl} = \frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Taktfolge}} = \frac{2 \cdot 30 \text{ Minuten}}{10 \text{ Minuten}} = 6$$

$$\text{Für alle Linien: Kompositionszahl} \cdot 3 = 18$$

$$\text{Fahrzeugreserve: } 12 - 15\% = 3$$

$$\text{Total: } 24$$

Quellen:

Kompositionszahl: (Weidmann, 2011 B) Kapitel 3, Seite 7/59

Fahrzeugreserve: (Weidmann, 2011 B) Kapitel 3, Seite 26/59

- Abschätzung der erforderlichen Personenkapazität pro Zug:

Bestehende Kapazität:

$$\frac{60 \text{ Minuten}}{7.5 \text{ Minuten}} \cdot (90 \text{ Sitzplätze} + 113 \text{ Stehplätze}) = 8 \cdot 203 = 1'624 \text{ Plätze / h}$$

Zuschlag für Nachfragesteigerung: +50%

Erforderliche Kapazität:

$$1'624 \cdot 1.5 = 2'436 \text{ Plätze / h}$$

Kapazität pro Zug:

$$2'436 \cdot \frac{10 \text{ Minuten}}{60 \text{ Minuten}} = 406 \cong 410 \text{ Plätze / Zug}$$

Quelle:

Nachfragesteigerung: siehe Tabelle 29 für Variante 3: U-Bahn

- Abschätzung der Anzahl Sitzplätze:

Sitzplatzdichte (U - Bahn): 2.0 Plätze / m'

spezifisches Fassungsvermögen (U - Bahn): 7.0 Plätze / m'

Anteil Sitzplätze: $2.0 / 7.0 = 0.28 \cong 30\%$

Anzahl Sitzplätze pro Zug :

$410 \cdot 0.30 = 123 \cong 125$ *Sitzplätze*

Quelle:

Sitzplatzdichte (U-Bahn): Schätzwert anhand (Weidmann, 2011 A), Kapitel 3, Seite 125/143, U-Bahn zweiseitiger Bestuhlung, Sitzplatzbreite ca. 60 cm, im Türbereich keine Bestuhlung.

Spezifisches Fassungsvermögen: siehe Tabelle 12

- Berechnung der Rollmaterialbeschaffungskosten:

$125 \text{ Sitzplätze} \cdot (40'000 \div 45'000) \text{ CHF} / \text{Sitzplatz} = 5.0 \div 5.6 \text{ Mio. CHF} / \text{Zug}$

alle 24 Züge: $120 \div 135 \text{ Mio. CHF}$

Die Investitionskosten für Infrastruktur und Rollmaterial belaufen sich auf rund 8.2 bis 10.2 Mrd. Franken.

Die Produktionskosten werden durch das zusätzliche U-Bahnsystem bedeutend grösser. Für eine überschlägige Abschätzung wurden die folgenden Annahmen getroffen:

Die U-Bahn verkehrt an einem gewöhnlichen Werktag von 5.00 bis 1.00

- | | |
|----------------------------|-------------|
| • 5.00 – 6.00 alle 15 min | 4 Fahrten |
| • 6.00 – 23.00 alle 10 min | 102 Fahrten |
| • 23.00 – 1.00 alle 15 min | 8 Fahrten |
| • Total | 114 Fahrten |

Der Trambetrieb kann aufgrund des neuen Angebots reduziert werden. Für geeignete Anschlüsse werden auf allen Tramlinien die gleichen Takte verwendet.

Die Produktionskosten wurden mit den Ansätzen aus Tabelle 14 berechnet und sind in Tabelle 27 dargestellt. Für einen Werktag belaufen sich die Kosten total auf rund 339'160 CHF. Gegenüber dem bestehenden System entspricht dies einem zusätzlichen Aufwand von 28.7%.

Tabelle 27 Variante 3: U-Bahn, Berechnung der Produktionskosten

Nr.	Farbe	Endhalt 1	Endhalt 2	Neue Streckenlänge ¹ [km]	Fahrten pro Tag ² [-]	Total Fahrplankilometer pro Tag ³ [km]	Produktionskosten pro Tag ⁴ [CHF]
2		Farbhof	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.2	114	934.8	14'022
3		Albisrieden	Klusplatz	7.6	114	866.4	12'996
4		Altstetten Bahnhof N	Bahnhof Tiefenbrunnen	8.5	114	969.0	14'535
5		Kirche Fluntern	Laubegg	5.0	114	570.0	8'550
5		Kirche Fluntern	Bahnhof Enge	3.5	0	0.0	0
6		Zoo	Bahnhof Enge	5.7	114	649.8	9'747
6		Zoo	Hauptbahnhof	4.0	0	0.0	0
7		Bahnhof Stettbach	Wollishofen	12.6	114	1'436.4	21'546
8		Hardplatz	Klusplatz	5.6	114	638.4	9'576
8		Hardplatz	Bellevue	3.6	0	0.0	0
9		Hirzenbach	Heuried (Triemli)	12.0	114	1'368.0	20'520
10		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhofplatz HB	11.9	114	1'356.6	20'349
10		Sternen Oerlikon	Bahnhofplatz HB	5.2	0	0.0	0
11		Auzelg	Rehalp	12.4	114	1'413.6	21'204
12		Fracht (Flughafen Zürich)	Bahnhof Stettbach	11.5	114	1'311.0	19'665
12		Glattpark	Bahnhof Stettbach	6.5	0	0.0	0
13		Frankental	Albisgütli	10.5	114	1'197.0	17'955
14		Seebach	Triemli	9.6	114	1'094.4	16'416
15		Bucheggplatz	Klusplatz	5.7	114	649.8	9'747
17		Werdhölzli	Bahnhofplatz HB	5.9	114	672.6	10'089
A		Küsnacht	Kloten	18.1	114	2'063.4	37'141
B		Dübendorf	Birmensdorf	17.5	114	1'995.0	35'910
C		Regensdorf	Adliswil	19.1	114	2'177.4	39'193

¹ Linien ausgemessen in (Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2009)

² Gemäss (Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ), 2013 B), nur werktags, ganze Kurse

³ Berechnet aus Streckenlänge und anzahl Fahrten pro Tag

⁴ Produkt aus 15 CHF/Tram-km bzw. 18 CHF/Zugs-km, gemäss Tabelle 14, und Fahrplankilometern

5.2 Machbarkeitsprüfung und Optimierung

5.2.1 Nachfrageabschätzung

Die Wirkung einer Variante auf die Nachfrage kann mithilfe von Nachfrageelastizitäten abgeschätzt werden. Im folgenden Abschnitt wird die Nachfrageveränderung infolge der Fahrzeitverkürzung untersucht. Für die Berechnungen wird die Nachfrageelastizität von -0.8 gemäss Tabelle 28 verwendet.

Tabelle 28 Nachfrageelastizität bezüglich Fahrzeitverkürzung

	Bereich	Wahl
Fahrzeit	- 0.6 bis - 1.0	- 0.8

Quelle: (Weidmann, 2011 A), Kapitel 3, Seite 64/143

Nachfrageveränderungen aufgrund von „komfortableren Fahrzeugen“, „intensivem Marketing“ und „Marktreaktionen auf den Fahrpreis“ (Weidmann, 2011 A) werden nicht berücksichtigt. Weitere Effekte auf die Nachfrage sind:

Angebotsdichte

Sie beschreibt den Einfluss des Angebotes auf die Nachfrage, die entsprechenden Nachfrageelastizitäten liegen für den Stadtverkehr in der Schweiz zwischen + 0.25 und +0.35.

(Weidmann, 2011 A), Kapitel 3, Seite 56/143

Der Nachfragerückgang, welcher aufgrund von grösseren Haltestellenabständen zu erwarten ist, wurde nicht berücksichtigt.

Pünktlichkeit

Diese ist beispielsweise bei einem U-Bahnsystem höher als bei Strassenbahnen. Dieser Effekt wird nicht berücksichtigt.

Direktverbindungen

Direktverbindungen erreichen ca. 12% mehr Nachfrage gegenüber einer Verbindung mit einem Umsteigevorgang. Alternativ kann mit einer Umsteigepönale von 5 min gerechnet werden. Dieser Effekt floss bereits bei der Berechnung der Fahrzeiten ein.

(Weidmann, 2011 A), Kapitel 3, Seite 68/143

Die Nachfrageveränderungen infolge verkürzter Fahrzeit pro Variante sind der Tabelle 29 zu entnehmen.

Tabelle 29 Fahrzeit- und Nachfrageveränderung

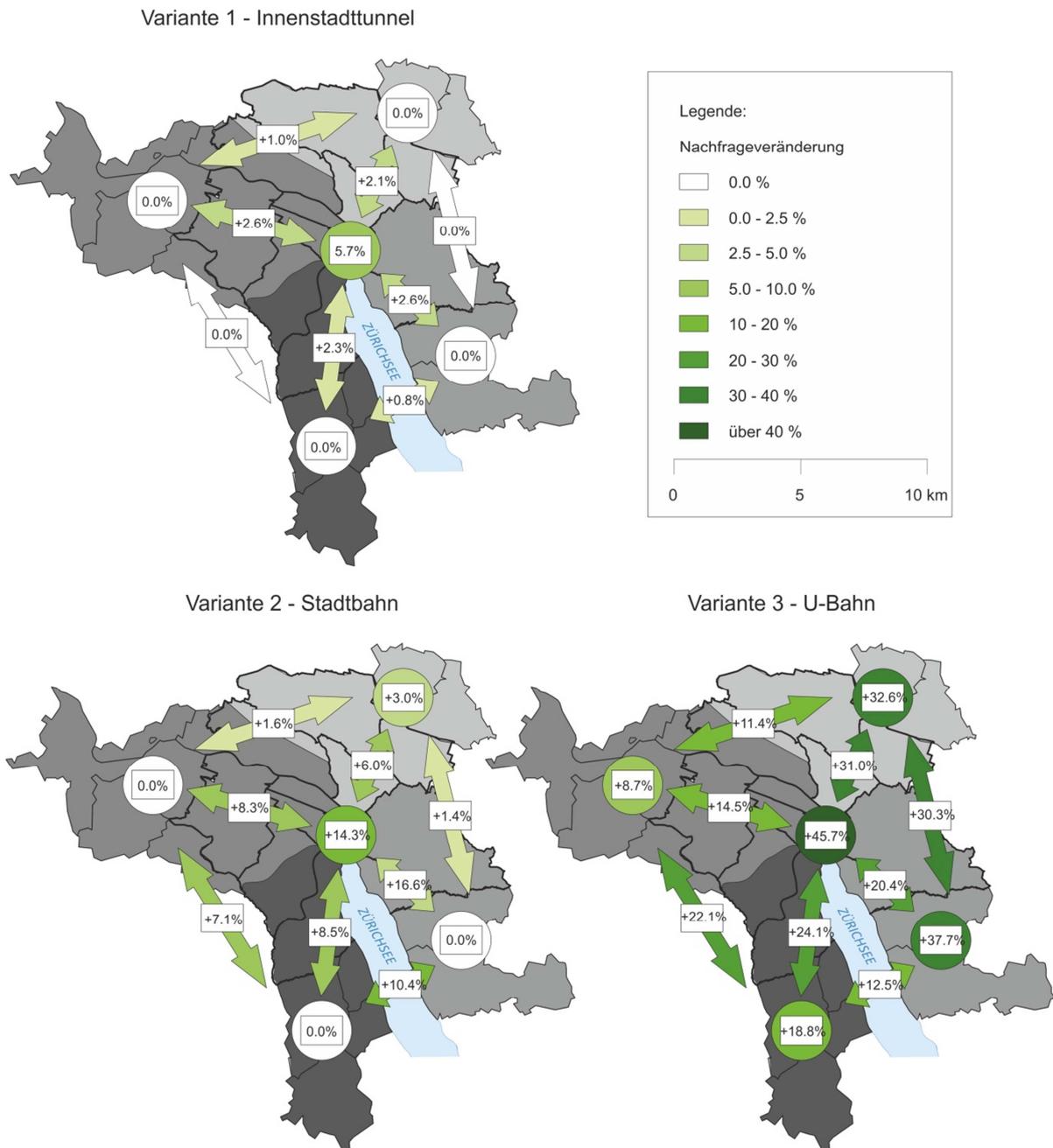
	Fahrzeitveränderung [%]			Nachfrageveränderung [%]		
	Variante 1 Tunnel	Variante 2 Stadtbahn	Variante 3 U-Bahn	Variante 1 Tunnel	Variante 2 Stadtbahn	Variante 3 U-Bahn
Total	-1.47	-7.97	-26.40	+1.17	+6.37	+21.12
Zürich Kernstadt	-7.14	-17.86	-57.14	+5.71	+14.29	+45.71
Kern – Nord	-2.60	-7.51	-38.73	+2.08	+6.01	+30.98
Kern – Süd-Ost	-3.19	-20.74	-25.53	+2.55	+16.60	+20.43
Kern – Süd-West	-2.85	-10.57	-30.08	+2.28	+8.46	+24.07
Kern – West	-3.23	-10.32	-18.06	+2.58	+8.26	+14.45
Zürich Nord	±0.00	-3.70	-40.74	±0.00	+2.96	+32.59
Nord – West	-1.30	-1.95	-14.29	+1.04	+1.56	+11.43
Nord – Süd-Ost	±0.00	-1.79	-37.86	±0.00	+1.43	+30.29
Zürich West	±0.00	±0.00	-12.73	±0.00	±0.00	+10.18
West – Süd-West	±0.00	-8.88	-27.57	±0.00	+7.10	+22.06
Zürich Süd-West	±0.00	±0.00	-23.53	±0.00	±0.00	+18.82
Süd-West – Süd-Ost	-1.04	-13.02	-15.63	+0.83	+10.42	+12.50
Zürich Süd-Ost	±0.00	±0.00	-47.06	±0.00	±0.00	+37.65

Datenquelle: (Zürcher Verkehrsverbund (ZVV), 2013 C) und eigene Berechnungen

Durch die starke Fahrzeitreduktion, welche die Variante 3 generiert, hat diese die grösste Nachfragezunahme. Besonders in den Gebieten Zürich Kernstadt, Zürich Nord und Zürich Süd Ost ist eine grosse Nachfragezunahme von über 30% zu erwarten. Die Verbindungen Kern – Nord und Nord – Süd Ost weisen ebenfalls Zunahmen von über 30% auf. Bei diesen grossen Werten stellt sich die Frage woher diese Nachfrage stammt. Diese wird einerseits durch die Fussgänger generiert, welche nun mit der U-Bahn kürzere Strecken zurücklegen, andererseits wird das S-Bahnnetz im Stadtbereich entlastet.

Um die Unterschiede der drei Varianten zu verdeutlichen sind die Nachfrageveränderungen pro Gebiet und Verbindung in Abbildung 32 dargestellt.

Abbildung 32 Nachfrageveränderung der Varianten infolge Fahrzeitverkürzung



Bildquelle: (Stadt Zürich, 2012 C), überarbeitet

5.2.2 Machbarkeitsprüfung

Die Machbarkeitsprüfung wird anhand der Überprüfung der Angebotsauslegung und der betrieblichen Machbarkeit durchgeführt.

Angebotsauslegung

Mit der Angebotsauslegung wird überprüft, ob die Nachfrage kleiner ist als die Kapazität. Ist sie viel kleiner als die Kapazität, ist das Angebot überdimensioniert. Ist sie viel grösser muss die betreffende Linie verstärkt werden.

Die Kapazität wurde mit der Berechnung der Kompositionersparnis abgeschätzt. Die Varianten 1 und 2 können aufgrund der kürzeren Umlaufzeiten eine Einsparung der Komposition erzielen, welche an anderer Stelle für die Bewältigung der zusätzlichen Nachfrage eingesetzt werden kann. Die Variante 3 benötigt neues Rollmaterial, welches auf die erwartete Nachfrage dimensioniert werden soll.

Die Angebotsauslegung der Varianten 1 und 2 ist grundsätzlich mit dem bestehenden Rollmaterial machbar. Da die Nachfrage nur qualitativ betrachtet wurde, sollte in der weiteren Vertiefung der Varianten die Nachfrage der einzelnen Linien auf ihre Quantität untersucht werden, um das erforderliche Rollmaterial präzise abzuschätzen.

Bei der U-Bahnvariante gestaltet sich die Beurteilung der Angebotsauslegung schwieriger. Die erwartete Nachfrage müsste mit Modellrechnungen abgeschätzt werden. Die Kapazität, welche die U-Bahn bieten kann, ist mit Sicherheit grösser als die Nachfrage, da sie ein hohes Erweiterungspotenzial besitzt. Dieses Potenzial kann entweder durch längere Kompositionen oder durch Taktverdichtungen bis zu 5 Minuten erreicht werden. Die U-Bahn ist daher auch längerfristig überdimensioniert.

Betriebliche Machbarkeitsprüfung

Die betriebliche Machbarkeit wird anhand der Streckenkapazität, Knotenkapazität und der Umsteigezeiten überprüft. Diese Eigenschaften flossen bereits mit den Anforderungen in die Variantenentwicklung ein. Die Grundlage der betrieblichen Umsetzung bildet bei den Varianten 1 und 2 ohnehin das bestehende Strassenbahnnetz. Dieses erfüllt bereits die Bedingungen der Machbarkeit. Die Umsetzung der Variante 3 wird ebenfalls gemäss den beschriebenen Anforderungen geplant. Die betriebliche Machbarkeit ist gewährleistet.

Ein weiterer Aspekt ist die Sicherung der Betriebsstabilität durch die Reduktion der auftretenden Risiken. Dadurch, dass bei allen Varianten zumindest ein Teil der Strecken unterirdisch geführt wird, fallen auf diesen Abschnitten die Begegnungen mit dem MIV weg. Mit der Variante 3 kann dadurch die grösste Sicherung der Betriebsstabilität erreicht werden.

5.2.3 Integration in das Gesamtsystem des öffentlichen Verkehrs

Die beiden Tramvarianten verändern den Betrieb der Strassenbahn nur gering. Konzeptionelle Veränderungen werden keine vorgenommen. Dadurch kann die Integration der Varianten in das Gesamtsystem des öffentlichen Verkehrs gewährleistet werden.

Die Variante 3 bringt ein zusätzliches System mit sich. Bei der Integration des Systems in die bestehenden muss darauf geachtet werden, dass die Umsteigemöglichkeiten und Umsteigezeiten gewährleistet sind. Technisch kann die Integration ohne Probleme erfolgen da das U-Bahnsystem unabhängig von den anderen Systemen ist.

6 Variantenevaluation

Die Varianten werden zunächst in ihren qualitativen und ihren wirtschaftlichen Zielgrössen verglichen. Danach folgt die Wahl der optimalen Variante.

6.1 Qualitative Zielgrössen – Gegenüberstellung

Die Varianten werden in Tabelle 30 bezüglich der ihrer Erfüllung der qualitativen Zielgrössen verglichen. Die qualitativen Zielgrössen wurden bereits in Kapitel 4.5 festgelegt:

- Minimierung der Reisezeit
Die Veränderung der Reisezeiten wird anhand der in Kapitel 5.1 in Abbildung 18 definierten Quell-Ziel-Beziehungen mit den neuen Reisezeiten berechnet. Die relative Veränderung der Reisezeit im Stadtzentrum wird aus den Quell-Ziel-Beziehungen im Stadtzentrum berechnet. Die Veränderung in den übrigen Gebieten wird analog berechnet.
- Erhöhung der Reisegeschwindigkeit auf den Tramlinien
Durch die Varianten werden auf den Tramlinien unterschiedlich grosse Fahrzeiteinsparungen bewirkt. Diese vermindern die Reisezeit und damit die Reisegeschwindigkeit auf den Linien. Die Reisegeschwindigkeiten der Tramlinien sind den Tabellen Tabelle 17, Tabelle 22 und Tabelle 26 zu entnehmen.
- Durchschnittliche Reisegeschwindigkeit im Tramnetz
Die Linie 12 wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt, da sie bei keiner der Varianten verändert wird, und bereits jetzt, aufgrund ihrer hohen Eigentrasseanteile und grossen Haltestellenabständen, eine sehr hohe Reisegeschwindigkeit aufweist.
- Umsteigevorgänge
- Optimierung der Lage der Umsteigepunkte

Tabelle 30 Bewertung der qualitativen Zielgrössen

Qualitative Zielgrössen	Variante 1 Tramtunnel	Variante 2 Stadtbahn	Variante 3 U-Bahn
Minimierung der Gesamtreisezeit ¹	Erfüllt mit – 1.47%	Erfüllt mit – 7.97%	Erfüllt mit – 26.40%

Min. der Reisezeit im Stadtzentrum ¹	Erfüllt mit – 7.14%	Erfüllt mit – 17.86%	Erfüllt mit – 57.14%
Min. der Reisezeit in den übrigen Gebieten ¹	Nicht erfüllt	Teilweise erfüllt mit 0.00% bis – 3.70%	Erfüllt mit – 12.73% bis – 47.06%
Min. der Reisezeit zwischen Stadtzentrum und umliegenden Gebieten ¹	Erfüllt mit – 2.60% bis – 3.23%	Erfüllt mit – 7.51% bis – 20.74%	Erfüllt mit – 18.06% bis – 38.73%
Min. der Reisezeit der übrigen Verbindungen ¹	Teilweise erfüllt mit 0.00% bis – 1.30%	Erfüllt mit – 1.79% bis – 13.02%	Erfüllt mit – 14.29% bis – 37.86%
Erhöhung der Reisegeschwindigkeit auf den Tramlinien ²	Auf 7 / 15 Linien Zwischen + 3.3% und + 11.9%	Auf fast allen Linien Zwischen + 6.1% und + 24.4%	Keine Veränderung
Durchschn. Reisegeschw. im Tramnetz ³	16.1 km/h	17.6 km/h	15.6 km/h (bisher)
Minimierung der Umsteigevorgänge ⁴	Keine Veränderung	Keine Veränderung	Nur für einzelne Verbindungen
Optimierung der Lage der Umsteigepunkte ⁴	Teilweise erfüllt Reduktion zweier Hst, sonst keine Veränderung	Teilweise erfüllt Reduktion der Hst-Anzahl und Zentralisierung der Hst	Teilweise erfüllt Hst der U-Bahn an den meisten wichtigen Umsteigepunkten

Anmerkungen und Quellen:

¹ Werte beziehen sich auf die Auswertung der ausgewählten Quell-Ziel-Beziehungen.

² gemäss Tabelle 17 und Tabelle 22

³ Quotient aus: Total Streckenlänge und Total Fahrzeit aus Tabelle 17 und Tabelle 22, ohne Linie 12

⁴ Kapitel 5.1 ab Seite 62, Beschreibung der Varianten

Die Variante 3 schneidet bei der Bewertung der Reisezeitveränderungen mit Abstand am besten ab. Ein Nachteil des U-Bahnsystems ist jedoch, dass zusätzliche, umständliche Umsteigevorgänge zwischen Bus, Tram, S-Bahn und U-Bahn nötig sind um alle Haltestellen des Stadtnetzes erreichen zu können. Umständlich sind die Vorgänge vor allem wegen den Abgängen zur U-Bahn.

Die Lage der Umsteigepunkte konnte bei Variante 2 und 3 verbessert werden, da beide eine Neugestaltung der Haltestellen vorsehen. Bei Variante 2 ist dies am besten gelöst, da die Knoten für alle Tramlinien entweder ober- oder unterirdisch sind. Auch die Umsteigevorgänge sind dadurch weniger umständlich.

6.2 Wirtschaftliche Zielgrössen – Gegenüberstellung

Die wirtschaftlichen Eigenschaften der Varianten werden in Tabelle 31 verglichen. Betrachtet werden die folgenden wirtschaftlichen Zielgrössen:

- **Investitionskosten**
Die Investitionskosten werden aufgrund der zu erstellenden oder umzubauenden Infrastruktur ermittelt. Die Kostenansätze wurden bereits in Kapitel 5.1 in Tabelle 13 festgehalten.
- **Kompositionsbedarf**
Aufgrund der Fahrzeiterparnis der Tramlinien kann Rollmaterial eingespart werden, beim Bau der U-Bahn ist hingegen eine Neuanschaffung von U-Bahnkompositionen erforderlich.
- **Produktionskosten und deren relative Zunahme**
Die Produktionskosten wurden aufgrund der geleisteten Fahrplankilometer berechnet. Die Kostenansätze dazu befinden sich ebenfalls in Kapitel 5.1, in Tabelle 14. Die Berechnung der Produktionskosten befindet sich in den Kapiteln 5.1.2 bis 5.1.4.
- **Realisierungszeitraum**
Der Realisierungszeitraum basiert auf der Annahme in Kapitel 4.3.4 Finanzielle Randbedingungen. Bei der Variante 3 müsste abgeklärt werden, ob eine zusätzliche Finanzierung möglich wäre, damit der Ausführungszeitraum reduziert werden könnte.
- **Nachfrageveränderung**
Die dargestellte Nachfrageveränderung ist die total über das gesamte System, beziehungsweise über die untersuchten Verbindungen zu erwartende Nachfragesteigerung. Es handelt sich dabei um den Durchschnittswert aller Verbindungen.

Die folgenden Parameter werden aus Quotienten der oben genannten Zielgrössen ermittelt und dienen ebenfalls dem Vergleich der Varianten:

- **Investitionskosten pro Nachfragezunahme**
Dieser Wert, in Franken pro Prozent, dient der Beurteilung der Investitionskosten bezüglich des erwarteten Nutzens in Form von Erträgen.
- **Produktionskosten- pro Nachfragezunahme**
Dieser Wert ist einheitslos. Je kleiner er ist, desto rentabler ist die Variante auf lange Sicht.

Tabelle 31 Bewertung der wirtschaftlichen Zielgrössen

Wirtschaftliche Zielgrössen	Variante 1 Tramtunnel	Variante 2 Stadtbahn	Variante 3 U-Bahn
Infrastrukturneubau ¹	3 km Tunnel	11 km Tunnel	38 km Tunnel 15 km offene Strecke
Investitionskosten ¹	0.6 bis 0.75 Mrd. Fr.	2,2 bis 2,75 Mrd. Fr.	8,125 bis 10,1 Mrd. Fr. + 0.12 bis 0.135 Mrd. Fr. (Rollmaterial)
Kompositionsbedarf	– 3 Kompositionen (Tram)	– 15 Kompositionen (Tram)	+ 24 Kompositionen (U-Bahn)

Produktionskosten ¹	265'450 Fr./Tag	263'770 Fr./Tag	339'160 Fr./Tag
Relative Zunahme der Produktionskosten ¹	0.7%	0.1%	28.7% (alleine durch U-Bahn)
Realisierungszeitraum aus finanzieller Sicht ²	4 bis 6 Jahre	15 bis 22 Jahre	55 bis 80 Jahre
Nachfrageveränderung ³	+ 1.57 %	+ 5.74 %	+ 21.35 %
Infrastrukturkosten pro Nachfragezunahme ⁴	382-478 Mio Fr./ 1%	383-479 Mio. Fr./ 1%	386-479 Mio. Fr./ 1%
Produktionskosten-Nachfragezunahme ⁴	0.45 %/%	0.02 %/%	1.34 %/%

¹ Kapitel 5.1 Varianten ab Seite 62

² (Weidmann, et al., 2012), „jährlich zur Verfügung stehende Mittel, 130 bis 150 Mio. Franken“

³ Kapitel 5.2.1 Nachfrageabschätzung Seite 99

⁴ Berechnet aus den entsprechenden Quotienten

Interessant ist, dass sich bei den Infrastrukturkosten pro Nachfragezunahme bei allen Varianten ungefähr die gleich Bandbreite an Franken pro ein Prozent Nachfragezunahme ergibt. Bezüglich dieses Werts können die Varianten demnach nicht unterschieden werden. Was sich auf längere Sicht mehr bemerkbar macht als die Investitionskosten sind die Produktionskosten für die Fahrplankilometer. Der Quotient aus Produktionskosten und Nachfragezunahme ist bei den Varianten sehr unterschiedlich. In Variante 2 kann der beste Wert erreicht werden. Am schlechtesten schneidet Variante 3 mit 1.34 %/% ab.

6.3 Variantenwahl

Bei der Betrachtung der qualitativen Zielgrössen kann die U-Bahn die besten Werte erzielen. Da die qualitativen Aspekte nicht ohne die Wirtschaftlichen betrachtet werden können, schneidet diese Variante schlechter ab als die Stadtbahn. Die Kosten für die Infrastrukturerstellung und Rollmaterialbeschaffung der U-Bahn bedingen einen sehr langen Ausführungszeitraum. Bis das System vollumfänglich in Betrieb gehen kann muss das bestehende Tramnetz die Nachfrage bewältigen. Bei einer Realisierungszeit von bis zu 80 Jahren ist dies nicht realistisch. Das Tramnetz müsste ergänzend verbessert werden, da stellt sich die Frage, ob der Umbau des Tramnetzes nicht rentabler ist. Zusätzlich muss bei der U-Bahn berücksichtigt werden, dass ein solches System eine sehr hohe Kapazität und Leistungsfähigkeit aufweist. Für die Stadt Zürich und die erwarteten Verkehrsmengen ist diese Kapazität noch immer zu hoch, die U-Bahnzüge wären nicht ausgelastet und das System damit überdimensioniert.

Werden die finanziellen Aspekte stark gewichtet kristallisiert sich die Variante 2 „Stadtbahn“ direkt als optimale Variante heraus. Die erwarteten Erträge aufgrund der Nachfragesteigerung und die Kosten für die Erstellung wie auch für den Betrieb stehen in einem günstigen Verhältnis zueinander. Aus wirtschaftlichen Gründen wird daher der Ausbau des bestehenden Tramnetzes zur Stadtbahn empfohlen.

Die Verbesserungen, die durch die Variante 1 erzielt werden können, sind nicht besonders gross. Die kosten und komplizierten Umbaumaassnahmen überwiegen. Was jedoch in Betracht gezogen werden soll, ist, die Variante 1 als eine Etappe der Stadtbahn Variante umzusetzen. Die Planung solcher Massnahmen bedarf ohnehin einer Etappierung, welche in einer vertiefenden Studie erarbeitet werden sollte.

7 Fazit

Der erste Teil der Arbeit widmete sich der Recherche über die Entwicklung von Nahverkehrssystemen in europäischen Städten. Es zeigte sich, dass die Faktoren, welche offensichtlich ein Verkehrssystem bestimmen wie, die Bevölkerungsentwicklung sowie die Geografie und Topografie in Zürich nur bedingt zur Anwendung kamen. Einen viel grösseren Einfluss hatte und hat das politische System in der Schweiz. Durch das Abstimmungsrecht kann die Schweizer Bevölkerung an politischen Entscheidungen teilhaben. Aus diesem Grund endete die „Tiefbahn/U-Bahn-Odyssee“ in Zürich mit den beiden Abstimmungen 1963 und 1972.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden die Situationsanalyse in Zürich und das Variantenstudium behandelt. Die Situationsanalyse zeigte, dass das bestehende Tramnetz nicht die gewünschten Reisegeschwindigkeiten auf den Tramlinien erbringen kann. Ausserdem wurde durch die Analyse der Systemgeschwindigkeiten im Verkehrsnetz deutlich, dass die Verbindungen innerhalb und zur Zürcher Innenstadt verhältnismässig langsam sind. Mit diesen Voraussetzungen wurden drei Varianten erarbeitet. Die Variante 1 behandelte die Tieferlegung der Tramlinien in der Bahnhofstrasse. In Variante 2 wurde die Idee der Variante 1 auf einen grösseren Bereich ausgedehnt. Die Tramlinien werden in Variante 2 auf ein Stadtbahnsystem umgebaut. Der Fokus lag dabei auch im Innenstadtbereich. Die Variante 3 behandelte die Planung eines U-Bahnsystems, welches zusätzlich zum bestehenden Tramnetz umgesetzt werden soll. Die Varianten wurden nach ihren qualitativen und wirtschaftlichen Eigenschaften beurteilt. Die Evaluation machte die Unterschiede der Varianten deutlich. Finanziell, qualitativ und bezüglich des Realisierungszeitraums kristallisierte sich die Variante 2, die Stadtbahn als die optimale Lösung heraus.

8 Literaturverzeichnis

Aktionskomitee Pro Tiefbahn, Zürich. 1962. Projektzeitung Tiefbahn Zürich aus dem Jahr 1962. [Online] 1962. [Zitat vom: 4. März 2013.] <http://duerst-online.ch/turicum/verkehr/Tiefbahn.pdf>.

Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung. 2013. Internetauftritt des bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung, Tabellen, Fläche / Volkszählung, Nürnberg (Mittelfranken). [Online] 2013. [Zitat vom: 20. März 2013.] <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/data?Menu=Willkommen>.

—. **2012.** Internetauftritt des bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung, Volkszählung. [Online] 2012. [Zitat vom: 7. März 2013.] <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/data?operation=abrufabelleBearbeiten&levelindex=2&levelid=1362648440592&auswahloperation=abrufabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&selectionname=12111>.

Beilin, Hugues und Rey, Pierre. 1993. *un métro pour le grand Toulouse*. Toulouse : Éditions Privat, 1993. ISBN: 2-7089-9071-3 (Français).

Bernet, Ralph. 2012. *Trams in der Schweiz: Strassenbahnbetriebe einst und jetzt*. München : GeraMond Verlag, 2012. ISBN: 978-3-86245-122-7 (Deutsch).

Bundesamt für Landestopografie swisstopo. 2009. *Swiss Map, elektronisches Kartenwerk der Schweiz*. 2009.

Bundesrepublik Deutschland. 1949. *Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland*. 1949.

Danmaks Statistikbank. 2012. Internetauftritt der Danmaks Statistikbank, (Københavns Kommune). [Online] 2012. [Zitat vom: 7. März 2013.] <http://www.statistikbanken.dk/BEF44>.

Duden. 2013. DUDEN, Bedeutung des Wortes Grosstadt. [Online] 2013. [Zitat vom: 12. März 2013.] <http://www.duden.de/rechtschreibung/Groszstadt>.

Galliker, Hans-Rudolf. 1997. *Tramstadt - Öffentlicher Nahverkehr und Stadtentwicklung am Beispiel Zürichs*. Zürich : Chronos Verlag, 1997. ISBN: 3-905312-02-6.

Gouvernement de la République française. 1958. *La Constitution*. 1958.

Groneck, Christoph. 2008. *Metros in Portugal: Schienennahverkehr in und um Lissabon und Porto*. Berlin : Robert Schwandl Verlag, 2008. ISBN: 978-3-936573-20-6 (Deutsch und Englisch).

Groneck, Christoph und Stein, Dirk Martin. 2009. *Metros in Belgien - Metros in Belgium: Metro - Premetro - Tram.* Berlin : Robert Schwandl Verlag, 2009. ISBN: 978-3-936573-26-8 (Deutsch und Englisch).

Haefeli, Ueli. 2008. *Verkehrspolitik und urbane Mobilität.* Stuttgart : Franz Steiner Verlag, 2008. ISBN: 978-3-515-09133-6 (Deutsch).

Helenic Statistical Authority (ELSTAT). 2011. internet portal of the Helenic Statistical Authority (Bevölkerungszahlen von Athen und der Region Attika). [Online] 2011. [Zitat vom: 6. März 2013.] http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A1602/PressReleases/A1602_SAM01_DT_DC_00_2011_02_F_EN.pdf.

Hinkel, Walter J., et al. 2004. *U-Bahnen gestern-heute-morgen von 1863 bis 2010.* Wien : N. J. Schmid Verlag, 2004. ISBN: 3-900-607-443 (Deutsch).

Institut national de la statistique et des études économiques INSEE. 2012. Site de INSEE, Dossier complet, Toulouse. [Online] 2012. [Zitat vom: 20. März 2013.] http://www.statistiques-locales.insee.fr/FICHES/DL/DEP/31/COM/DL_COM31555.pdf.

—. **2009.** Site de INSEE, Résumé statistique de Lyon. [Online] 2009. [Zitat vom: 7. März 2013.] <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/esl/comparateur.asp?codgeo=cv-6999>.

—. **2009.** Site de INSEE, Résumé statistique de Toulouse. [Online] 2009. [Zitat vom: 7. März 2013.] <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/esl/comparateur.asp?codgeo=com-31555>.

Instituto Nacional de Estatística, Portugal . 2011. Internetauftritt des Instituto Nacional de Estatística, Portugal, (Bevölkerungszahl in Lissabon). [Online] 2011. [Zitat vom: 7. März 2013.] http://www.ine.pt/xportal/xmain?xlang=en&xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0005889&contexto=pi&selTab=tab0#.

Instituto Nacional de Estadística (INE). 2013. internet portal of the INE (Bevölkerungszahlen der spanischen Provinz Bizkaia und der Stadt Bilbao). [Online] 2013. [Zitat vom: 6. März 2013.] <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t43/a011/a1998/densidad/a2012/11/&file=t10043.px&type=pcaxis&L=1>.

Kanton Zürich. 2013. Internetauftritt des statistischen Amtes des Kantons Zürich, Gemeindeportraits, Flächen und Beschäftigtenzahl. [Online] 2013. [Zitat vom: 22. April 2013.] http://www.statistik.zh.ch/internet/justiz_innere/statistik/de/daten/gemeindeportraet.html.

Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Raumentwicklung. 2007. Internetauftritt des Kantons Zürich, kantonaler Richtplan. [Online] 2007. [Zitat vom: 14. Mai 2013.] http://www.are.zh.ch/internet/baudirektion/are/de/raumplanung/kantonaler_richtplan/richtplan.html.

Kanton Zürich, Volkswirtschaftsdirektion, Amt für Verkehr. 2007 A. Internetauftritt des Amtes für Verkehr, Broschüre zum Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich. [Online] 2007 A. [Zitat vom: 14. April 2013.] <http://www.afv.zh.ch/internet/volkswirtschaftsdirektion/afv/de/Verkehrsplanung2/gesamtverkehrsmodell.html>.

—. **2007 B.** Internetauftritt des Amtes für Verkehr, Verkehrsnachfrage nach Verkehrszwecken. [Online] 2007 B. [Zitat vom: 14. April 2013.] <http://www.afv.zh.ch/internet/volkswirtschaftsdirektion/afv/de/Verkehrsplanung2/verkehrsgrundlagen/verkehrsnachfrage.html>.

Kingdom of the Netherlands. 2008. *The Constitution of the Kingdom of the Netherlands.* s.l. : Ministry of the Interior and Kingdom Relations, 2008.

Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen. 2010. Internetauftritt des Landesbetriebs für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, Daten der Stadt Hannover. [Online] 2010. [Zitat vom: 6. März 2013.] <http://www.nls.niedersachsen.de/Gemeinden/G241001.html>.

Landesbetrieb, Information und Technik, Nordrhein-Westfalen (IT.NRW). 2012. Internetauftritt der IT.NRW (Bevölkerungszahl und -dichte von Bielefeld). [Online] 2012. [Zitat vom: 6. März 2013.] <http://www.it.nrw.de/statistik/a/daten/eckdaten/r511dichte.html>.

Limmattalbahn AG. 2013. Internetauftritt des Projektes Limmattahlbahn. [Online] 2013. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.limmattalbahn.ch/index.php>.

National Land Survey of Finland. 2012. Internet portal of the National Land Survey of Finland, Finlands Areal Kommunvis. [Online] 2012. [Zitat vom: 6. März 2013.] http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/alat12_su_nimet.pdf.

Schwandl, Robert. 2007. *Schnellbahnen in Deutschland - Metros in Germany: U-Bahn, Stadtbahn, S-Bahn.* Berlin : Robert Schwandl Verlag, 2007. ISBN: 978-3-936573-18-3 (Deutsch und Englisch).

—. **2012 A.** UrbanRail.Net, Liniennetz von Antwerpen. [Online] 2012 A. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.urbanrail.net/eu/be/ant/antwerpen-map.htm>.

—. **2012 B.** UrbanRail.Net, Nürnberg. [Online] 2012 B. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.urbanrail.net/eu/de/n/nuernberg.htm>.

—. **2012 C.** UrbanRail.Net, Toulouse. [Online] 2012 C. [Zitat vom: 9. April 2013.] <http://www.urbanrail.net/eu/fr/toulouse/toulouse.htm>.

Schweizerische Eidgenossenschaft. 1999. *Bundesverfassung der schweizerischen Eidgenossenschaft.* 1999.

Siemens Transportation System. 2007. Dokumentation über VAL 208. [Online] 2007. [Zitat vom: 19. April 2013.] https://www.swe.siemens.com/france/web/fr/sts/offre/solutions/Documents/valfr_2000001274551.pdf

Stadt Antwerpen. 2008. Internetauftritt der Stadt Antwerpen, Publikation, Bevölkerung in Zahlen. [Online] 2008. [Zitat vom: 20. März 2013.] <http://www.antwerpen.be/eCache/BDE/34/463.cmVjPTQ3Njg.html>.

—, **2013 A.** Internetauftritt der Stadt Antwerpen, Stad Antwerpen en Cijfers (Anzahl Einwohner und Bevölkerungsdichte). [Online] 2013 A. [Zitat vom: 7. März 2013.] <http://www.antwerpen.buurtmonitor.be/>.

—, **2013 B.** Internetauftritt der Stadt Antwerpen, Stadtbeschrieb. [Online] 2013 B. [Zitat vom: 18. März 2013.] <http://www.visitantwerpen.be/Bezoekerssite-DU/Publicatiekanalen/Stad/Antwerpen/Bezoekerssite-DU-Bezoekerssite-DU-Doelgroepnavigatie-Presses.html>.

Stadt Frankfurt am Main. 2013 A. Internetauftritt der Stadt Frankfurt, statistische Informationen zum Thema Bevölkerung (Einwohnerstand und Einwohnerbewegungen). [Online] 2013 A. [Zitat vom: 6. März 2013.] http://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/678/26_Dob_Einwohner_3Quartal2012.pdf.

—, **2013 B.** Internetauftritt der Stadt Frankfurt, Zahlen, Daten, Fakten (Stadtgebiet, Gesamtfläche). [Online] 2013 B. [Zitat vom: 6. März 2013.] [http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2811&_ffmpar\[_id_inhalt\]=7526](http://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2811&_ffmpar[_id_inhalt]=7526).

Stadt Hannover. 2013. Internetauftritt der Stadt Hannover, Beschrieb des Wirtschaftsstandortes. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.hannover.de/Wirtschaft-Wissenschaft/Wirtschaftsförderung/Standort>.

Stadt Nürnberg. 2013. Internetauftritt der Stadt Nürnberg, Stadtportrait. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.nuernberg.de/internet/portal/buerger/stadtportrait.html>.

Stadt Stuttgart. 2013. Internetauftritt der Stadt Stuttgart, Wirtschaftsstandort Stuttgart. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.stuttgart.de/item/show/186213>.

Stadt Zürich. 2013 A. Internetauftritt der Stadt Zürich, Abteilung Statistik, Abstimmungsdatenbank. [Online] 2013 A. [Zitat vom: 14. Juni 2013.] <http://www.stadt-zuerich.ch/content/prd/de/index/statistik/politik/abstimmungsdatenbank.html>.

—. **2013 B.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Porträt der Stadt Zürich. [Online] 2013 B. [Zitat vom: 5. März 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/portal/de/index/portraet_der_stadt_zuerich.html.

—. **2013 C.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Porträt, Geschichte der Stadt Zürich. [Online] 2013 C. [Zitat vom: 5. März 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/portal/de/index/portraet_der_stadt_zuerich/geschichte_der_stadt_zuerich.html.

—. **2013 D.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Porträt, Zahlen und Fakten. [Online] 2013 D. [Zitat vom: 5. März 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/portal/de/index/portraet_der_stadt_zuerich/zahlen_u_fakten.html.

—. **2012 A.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Publikation Mobilität in Zahlen 2012. [Online] 2012 A. [Zitat vom: 12. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/ted/de/index/taz/publikationen_u_broschueren/mobilitaet_in_zahlen_2012_2.html.

—. **2012 B.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Statistik, Verkehr (Jahrbuch 2012, Kapitel 11). [Online] 2012 B. [Zitat vom: 22. März 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/prd/de/index/statistik/publikationsdatenbank/Jahrbuch/jahrbuch_2012/JB_2012_kapitel_11.html.

—. **2012 C.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Statistik, Volkszählung (Jahrbuch 2012 Kapitel 0). [Online] 2012 C. [Zitat vom: 20. März 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/prd/de/index/statistik/publikationsdatenbank/Jahrbuch/jahrbuch_2012/JB_2012_kapitel_00.html.

—. **2012 D.** Internetauftritt der Stadt Zürich, Taschenstatistik 2012. [Online] 2012 D. [Zitat vom: 22. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/prd/de/index/statistik/publikationsdatenbank/Taschenstatistik/TAS_2012de.html.

—. **2012.** Zueriplan - Stadtplan der Stadt Zürich. [Online] 2012. [Zitat vom: 19. April 2013.] <http://www.stadtplan.stadt-zuerich.ch/zueriplan/stadtplan.aspx>.

Statistikcentralen Finland . 2012. Internetauftritt der Statistikcentralen Finland, (Tabelle: Largest municipalities, Helsinki). [Online] 2012. [Zitat vom: 6. März 2013.] http://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_vaesto_en.html.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. 2013. Internetauftritt des statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, Bevölkerungsstand in Stuttgart. [Online] 2013. [Zitat vom: 20. März 2013.] <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/Tabelle.asp?H=BevoelkGebiet&U=02&T=01035010&E=KR&R=KR111>.

—. **2011.** Internetauftritt des statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, Übersicht- und Vergleichsdaten I, Stadtkreis Stuttgart. [Online] 2011. [Zitat vom: 22. März 2013.]

<http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/Tabelle.asp?H=BevoelkGebiet&U=99&T=99025010&E=KR&R=KR111>.

—. **2011.** Internetauftritt des statistischen landesamtes Baden-Württemberg, Übersichts- und Vergleichsdaten Mannheim. [Online] 2011. [Zitat vom: 6. März 2013.] <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/Tabelle.asp?H=BevoelkGebiet&U=99&T=99025010&E=GE&K=222&R=GE222000>.

—. **2012.** Statistischer Bericht der Bevölkerungsentwicklung 3. Quartal 2012, Stadtkreis Stuttgart. [Online] 2012. [Zitat vom: 7. März 2013.] http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Statistische_Berichte/3121_12003.pdf.

Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. 2011. Internetauftritt des Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Kreisfreie Stadt Ludwigshafen am Rhein. [Online] 2011. [Zitat vom: 6. März 2013.] <http://www.infothek.statistik.rlp.de/neu/MeineHeimat/detailInfo.aspx?topic=3&key=0731400000&l=3&id=3537>.

Tisséo. 2013. Internetauftritt der Tisséo (Verkehrsbetriebe Toulouse), Pläne. [Online] 2013. [Zitat vom: 20. März 2013.] <http://www.tisseo.fr/se-deplacer/plans>.

Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG. 2013. Internetauftritt der Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG, Linipläne. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.uestra.de/bahnen0.html>.

—. **2008.** Internetauftritt der Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG, Stadtbahn. *Broschüre der Stadtbahn.* [Online] 2008. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.uestra.de/fileadmin/uestra/downloads/themenbroschueren/Stadtbahnbrochure.pdf>.

Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS). 2013. Internetauftritt des Verkehrs- und Tarifverbundes Stuttgart, Liniennetze. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.vvs.de/karten-plaene/liniennetz/>.

Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ). 2013 A. Internetauftritt der VBZ, eigene Fahrzeuge, Trams. [Online] 2013 A. [Zitat vom: 11. Juni 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/fahrzeuge/unsere_fahrzeuge/trams.html.

—. **2013 B.** Internetauftritt der VBZ, Fahrplanbuch Stadt Zürich 2012/13. [Online] 2013 B. [Zitat vom: 16. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/fahrplan/mobiler_fahrplan1/fahrplanbuch-stadt-zuerich.html.

—. **2013 C.** Internetauftritt der VBZ, Liniennetz 2025 (Studie). [Online] 2013 C. [Zitat vom: 8. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/die_unternehmensentwicklung/liniennetz_2025_studie.html.

—. **2013 D.** Internetauftritt der VBZ, Medienmitteilung Fahrgastzahlen 2012. [Online] 2013 D. [Zitat vom: 14. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/medien/medienmitteilungen/fahrgastzahlen_2012.html.

—. **2009.** Internetauftritt der VBZ, Medienmitteilung Solides Wachstum der VBZ 2009. [Online] 2009. [Zitat vom: 14. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/medien/medienmitteilungen/solides-wachstum-der-vbz.html.

—. **2008.** Internetauftritt der VBZ, Planung und Projektierung, Empfehlungen für die Planung von VBZ-Strassenanlagen. [Online] 2008. [Zitat vom: 17. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/produkte_dienstleistungen/infrastruktur/planung_und_projektierung.html.

—. **2013 E.** Internetauftritt der VBZ, Projekt Tramverbindung Hardbrücke. [Online] 2013 E. [Zitat vom: 8. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/die_unternehmensentwicklung/tramverbindung_hardbruecke.html.

—. **2013 F.** Internetauftritt der VBZ, Projektbeschrieb Tram Zürich-West. [Online] 2013 F. [Zitat vom: 8. April 2013.] http://www.stadt-zuerich.ch/content/vbz/de/index/die_vbz/die_unternehmensentwicklung/realisiertes/tram_zuerich-west.html.

—. **2013 G.** Intranet der VBZ, öffentliche Mitteilungen, Kurven- und Streckengeschwindigkeiten der Tramlinien. [Online] 2013 G. [Zitat vom: 16. Mai 2013.] <http://vbz-fdm.intra.stzh.ch/vbz-fdm/public/>.

Verkehrsverbund Grossraum Nürnberg. 2013. Internetauftritt Verkehrsverbund Grossraum Nürnberg (VGN), Liniennetze. [Online] 2013. [Zitat vom: 19. März 2013.] <http://www.vgn.de/liniennetze/>.

Weidmann, Ulrich. 2011 A. *System- und Netzplanung Band 1.1, Vorlesungsskript.* Zürich : Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, 2011 A.

—. **2011 B.** *Systemdimensionierung und Kapazität Band 2.1, Vorlesungsskript.* Zürich : Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, 2011 B.

Weidmann, Ulrich und Huber, Werner. 2012. *Metro/tram - Eine Perspektive für Zürich.* Zürich : Susanne von Arx, 2012. ISBN: 978-3-905826-21-0.

Wikipedia DE. 2013. Wikipedia die freie Enzyklopädie, Deutsch, Einwohnerentwicklung. [Online] 2013. [Zitat vom: 21. März 2013.] <http://de.wikipedia.org/wiki/Spezial:Search?ns0=1&search=Einwohnerentwicklung>.

Wikipedia FR. 2013. Wikipédia l'encyclopédie libre, Français, Toulouse, Évolutions démographiques. [Online] 2013. [Zitat vom: 21. März 2013.] http://fr.wikipedia.org/wiki/Toulouse#.C3.89volutions_d.C3.A9mographiques.

Wikipedia NL. 2013. Wikipedia de vrije encyclopedie, Nederlands, inwoners antwerpen. [Online] 2013. [Zitat vom: 21. März 2013.] <http://nl.wikipedia.org/w/index.php?search=inwoners+antwerpen&title=Speciaal%3AZoeken>.

Zürcher Verkehrsverbund (ZVV). 2013 A. Internetauftritt des ZVV, Beschreibung Gesamtprojekt Durchmesserlinie. [Online] 2013 A. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/infrastruktur-projekte/durchmesserlinie.html>.

— **2013 B.** Internetauftritt des ZVV, Liniennetzplan der Stadt Zürich. [Online] 2013 B. [Zitat vom: 9. April 2013.] http://www.zvv.ch/opencms/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/linien-zonen-pdfs/Liniennetzplan_Stadt_Zuerich_2012.pdf.

— **2013 C.** Internetauftritt des ZVV, Online Fahrplan. [Online] 2013 C. [Zitat vom: 28. März 2013.] <http://online.fahrplan.zvv.ch/bin/query.exe/dn>.

— **2013 D.** Internetauftritt des ZVV, Projektbeschrieb Glattalbahn. [Online] 2013 D. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/infrastruktur-projekte/glattalbahn.html>.

— **2013 E.** Internetauftritt des ZVV, Projektbeschrieb Limmattalbahn. [Online] 2013 E. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/infrastruktur-projekte/limmattalbahn.html>.

— **2013 F.** Internetauftritt des ZVV, Projektbeschrieb Tram Zürich-West. [Online] 2013 F. [Zitat vom: 8. April 2013.] <http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/infrastruktur-projekte/tram-zuerich-west.html>.

— **2013 G.** Internetauftritt des ZVV, Projektbeschrieb Tramverbindung Hardbrücke. [Online] 2013 G. [Zitat vom: 8. April 2013.] http://www.zvv.ch/de/unternehmen-zvv/infrastruktur-projekte/tramverbindung_hardbruecke.html.