

Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen

SVI Fachtagung Forschung 2011

15. September 2011

Hermann Orth
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
ETH Zürich

Projektbearbeiter

Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich:

Prof. Dr. Ulrich Weidmann, dipl. Ing. ETH (Gesamtleitung)

Robert Dorbritz, dipl. Math. oec.

Hermann Orth, M.S.

Milena Scherer, dipl. Ing. ETH

Prof. Peter Spacek, dipl. Ing. ETH

Inhalt

1. Einleitung
 1. Hintergrund und Ziele
 2. Vorgehen der Untersuchung
2. Ausgangslage
 1. Agglomerationen
 2. Verkehrsmiteleinsetz
 3. Verkehrsmittelnutzung
 4. Auswirkungen
3. Verkehrsmiteleigenschaften
 1. Leistungskennwerte
 2. Auswirkungen
4. Ergebnisse
 1. Einsatzbereiche
 2. Fazit



1.1 Hintergrund

Die schweizerischen Agglomerationen verfügen über leistungsfähige und hochwertige Verkehrssysteme. Diese gilt es laufend der Entwicklung der Agglomerationen anzupassen, um den sich ändernden Bedürfnissen gerecht zu werden, z.B.:

- Bewältigung Mehrverkehr
- Steigerung der Erschliessungsqualität
- Sparsamer Umgang mit Ressourcen
- Verringerung der Umweltbelastungen

Teilweise sind diese Randbedingungen widersprüchlich!

1.1 Ziele

Die Ausgangslage wirft Fragen auf:

1. Welche Einsatzkriterien und –merkmale der Verkehrsmittel können anhand des aktuellen Zustands bestimmt werden?
2. Welches sind Erfolgsfaktoren für einen Verkehrsmittleinsatz, der die Verkehrsmittel sinnvoll verknüpft und den Anforderungen aus Nachfrage- und Raumstruktur gerecht wird?
3. Welche Funktionen haben die Verkehrsmittel in den Agglomerationen zu erfüllen?
4. Wo liegen Schwellenwerte für den Einsatz der einzelnen Verkehrsmittel?
5. Welches sind technisch und ökonomisch sinnvolle Einsatzbereiche der Verkehrsmittel?

1.2 Vorgehen

Erfassung der Ausgangslage

Agglomerationen und ihre
Charakteristika

Stand von Verkehrsmittleinsatz und
-nutzung

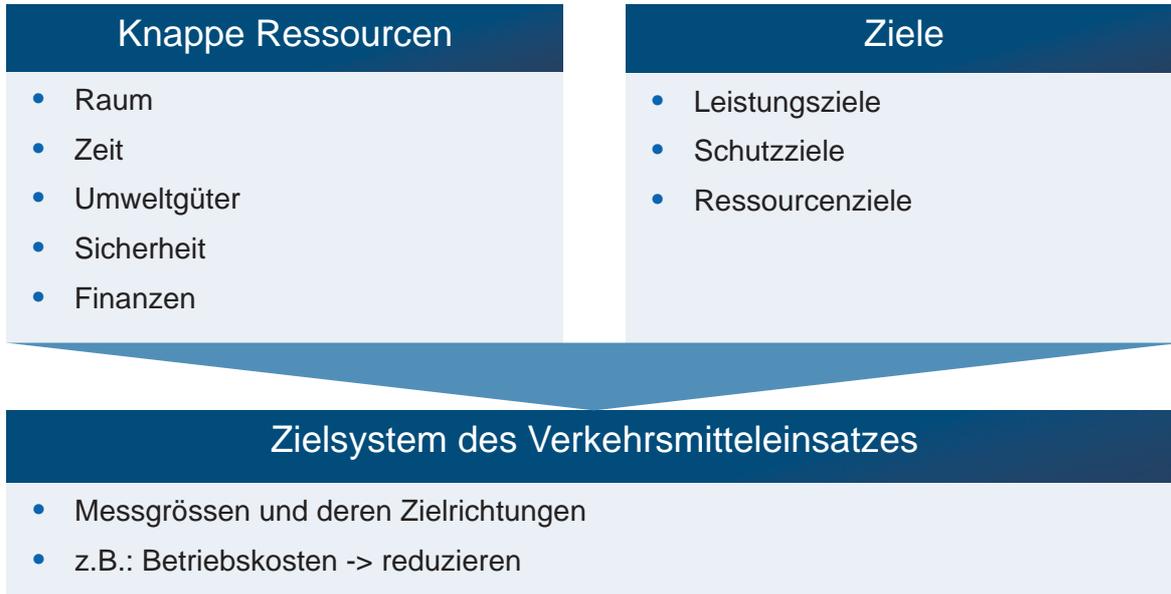
Untersuchung der Eigenschaften der Verkehrsmittel

Leistungsfähigkeiten („Output“)

Auswirkungen

Einsatzprofile und -kriterien

1.2 Zielsystem



Mittwoch, 14. September 2011

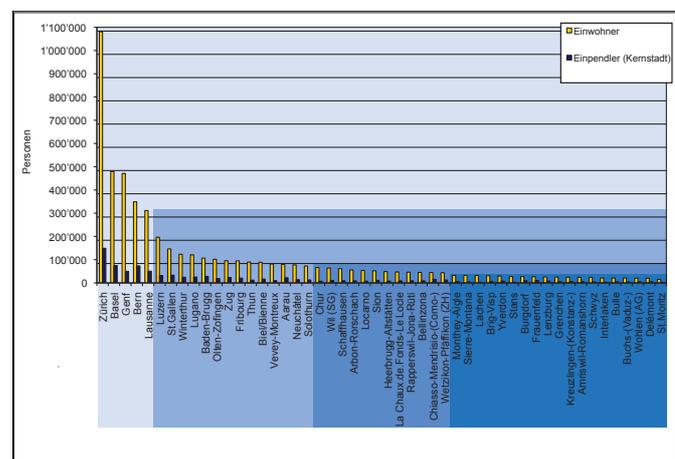
7

2.1 Ausgangslage Agglomerationen

Verkehrspotential: Einwohner und Zupendler

Klassierung:

- kleine Agglomerationen: < 32'000
- mittlere Agglomerationen 44'000-66'000
- grosse Agglomerationen 73'000-200'000
- die grössten 5 Agglomerationen > 300'000



Daten: Bundesamt für Statistik, Eidgenössische Volkszählung 2000

2.1 Ausgangslage Agglomerationen

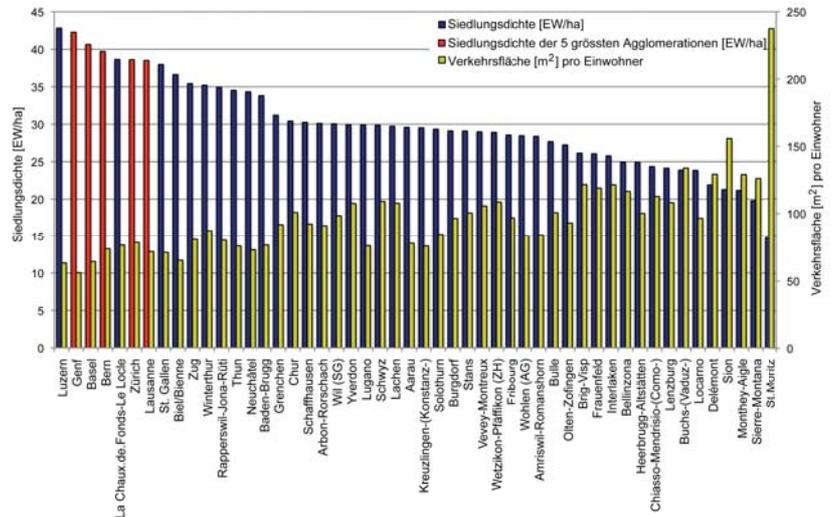
Siedlungsdichten und Verkehrsflächen

Dichten in Klassen

- klein 20-31 EW/ha
- mittel 21-39 EW/ha
- gross 27-38 EW/ha
- 5 grösste 39-42 EW/ha

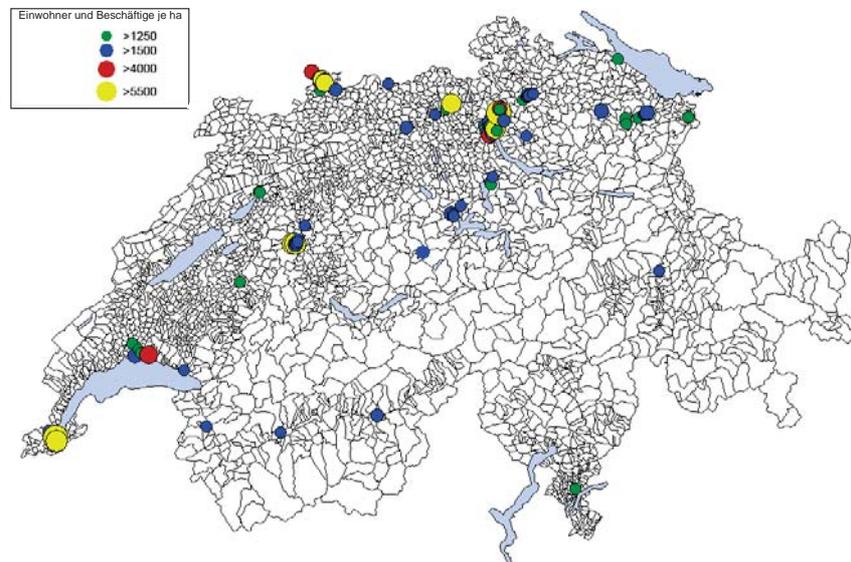
weitere Merkmale:

- Struktur
- Ausdehnung



2.1 Ausgangslage Agglomerationen

Siedlungsdichten in Kernzonen



2.2 Ausgangslage Verkehrsmiteinsatz

Welche Verkehrsmittel bzw. Verkehrsmittelausprägungen werden wo eingesetzt?

- Eigenes S-Bahn-System
- Integration in ein S-Bahn-System
- Regionalbahn
- U-Bahn
- Stadtbahn
- Strassenbahn
- Stadtbus (inkl. Trolleybus)
- Teile eines Autobahnringes
- Städtische Autobahn
- Autobahnanschluss
- Velostation
- Fussgängerzone

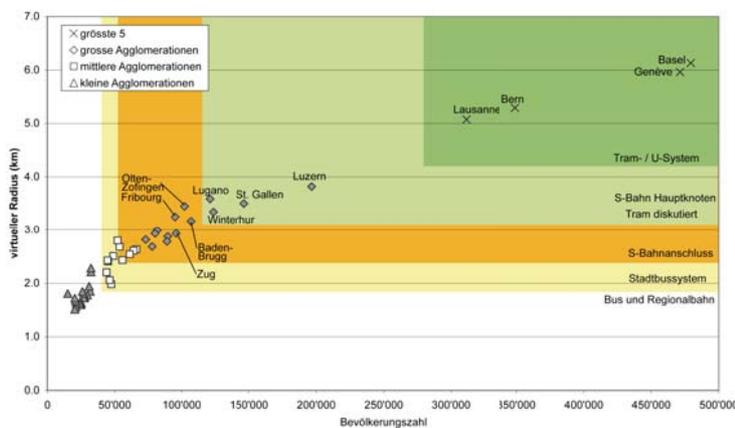
Kategoriebestimmende Verkehrsmittel	Weitere Verkehrsmittel										Einwohnerzahl von...bis (in tausend)	Anzahl Agglomerationen			
	Regionalbahn	städtische Autobahn	Fussgängerzone in Kernstad	Autobahn innerhalb Agglo	Stadtbus	Eigenes S-Bahn-System	Strassenbahn	Integriert in ein S-Bahn-System	Stadtbahn	Teile eines Autobahnringes			mind. Ein Autobahnanschluss	Velostation	U-Bahn
A	t	A	A	A	A	A	A	t	t	A	t	t	Kat. 1	250 - 1'086	5
A	A	A	A	A	A	0	A	0	0	A	A	0	Kat. 2	115 - 249	4
A	t	A	A	A	A	t	t	t	0	t	A	t	Kat. 3	60 - 114	13
A	t	A	A	A	t	0	0	A	0	0	A	t	Kat. 4	55 - 60	1
A	t	A	t	t	t	0	0	t	0	0	t	0	Kat. 5	45 - 54	7
A	t	t	t	t	t	0	0	t	0	0	t	t	Kat. 6	27 - 44	9
A	0	t	t	t	0	0	t	0	0	0	t	t	Kat. 7	20 - 26	10
t	0	t	t	t	0	0	t	0	0	0	t	t	Kat. 8	10 - 19	6

A Verkehrsmittel in allen Agglomerationen vorhanden
 t Verkehrsmittel teilweise vorhanden
 0 Verkehrsmittel nicht vorhanden

Agglomeration	6	7	8	Einwohnerzahl	Agglomerationen	1.95
Brig-Visp	31083	0	0	26.1	54	1.95
Yverdon-les-Bains	29774	1	1	29.9	51	1.78
Sions	27435	0	0	29.5	51	1.64
Burgdorf	27197	1	1	29.1	51	1.72
Frauenfeld	27005	1	1	26.1	51	1.82
Lenzburg	25903	0	0	24.1	55	1.85
Grenchen	25118	0	0	31.2	53	1.60
Kreuzlingen (CH)	24998	0	0	29.5	51	1.64
Amstalden/Romanshorn	24306	0	0	28.4	55	1.65
Schweyz	24059	0	1	29.8	55	1.60
Unterseen	21442	0	0	25.8	55	1.63
Bulle	21096	0	0	27.7	55	1.56
Buchs (SG/CH)	20949	0	1	23.9	54	1.67
Wädlen (AG)	20437	0	0	28.5	55	1.51
Delsmolen	20383	0	0	21.9	51	1.72
St. Moritz	15157	0	0	14.7	55	1.81
Margthym	14361	0	0	11.0	0	0
Länggöthel	14078	1	0	1.0	0	0
Birmensdorf	12633	0	0	0	0	0
Davos	11417	0	0	0	0	0
Lyss	10659	0	1	0	0	0

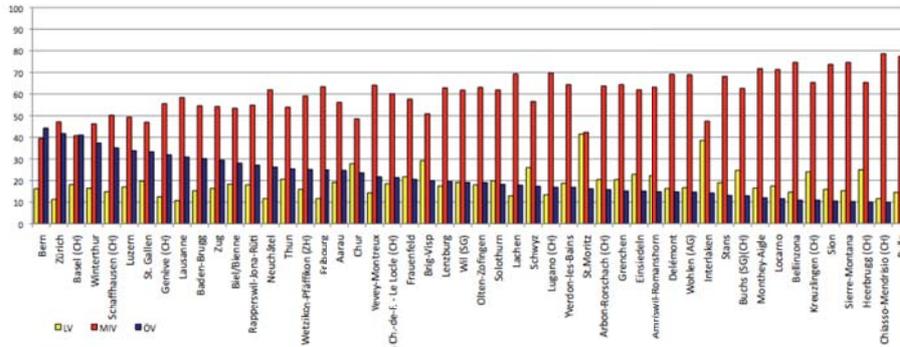
2.3 Ausgangslage Verkehrsmittelnutzung

Verkehrsmiteinsatz, Bevölkerungszahl und Ausdehnung der Agglomerationen



2.3 Ausgangslage Verkehrsmittelnutzung

Modalsplit



2.4 Ausgangslage Verkehrsmittelauswirkungen

Staus

- besonders grosse Agglomerationen
- Autobahnen: Durchgangsverkehr vs. lokaler Verkehr

Unfälle

- Mittelwert 4.4 Tote/Verletzte pro 1000 Einwohner
- Agglomerationen sowohl über als auch unter Schweizer Schnitt

Umweltbelastungen

- PM10 (Zürich am höchsten)
- Ozon (vor allem im Tessin)
- CO₂
- Lärm

Kosten

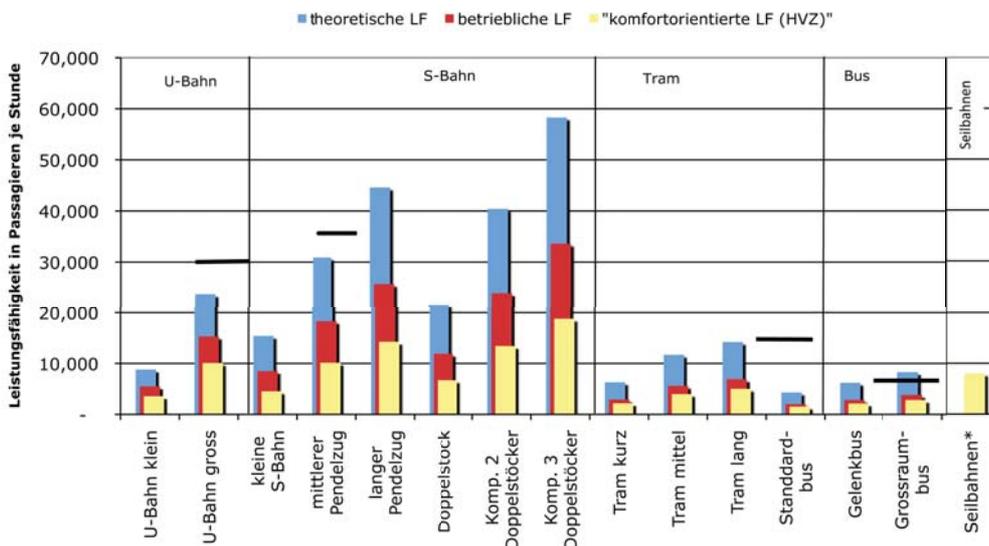
- Verkehrsinfrastruktur
- Folgekosten
- ..

3 Leistungskennwerte der Verkehrsmittel

- Leistungsfähigkeit**
 - Personen pro Zeiteinheit
- Zuverlässigkeit**
 - Zuverlässigkeit der Reisezeiten
 - Gewährleistung von Anschlüssen
- Reisezeit bzw. Reisegeschwindigkeit**
 - Reisegeschwindigkeit
 - Wartezeiten
 - Zu- und Abgangszeiten
- Erschließungsqualität**
 - ÖV: Weg zum nächsten Zugangspunkt
 - MIV: Parkplatzverfügbarkeit

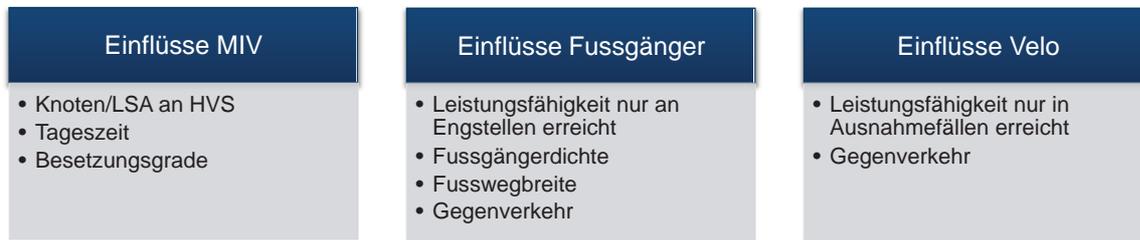
3.1 Leistungsfähigkeiten ÖV

- theoretische LF**
 - Frequenz x Fassungsvermögen
- betriebliche LF**
 - Pufferzeiten
- komfortorientierte LF**
 - akzeptierte Stehplatzdichte



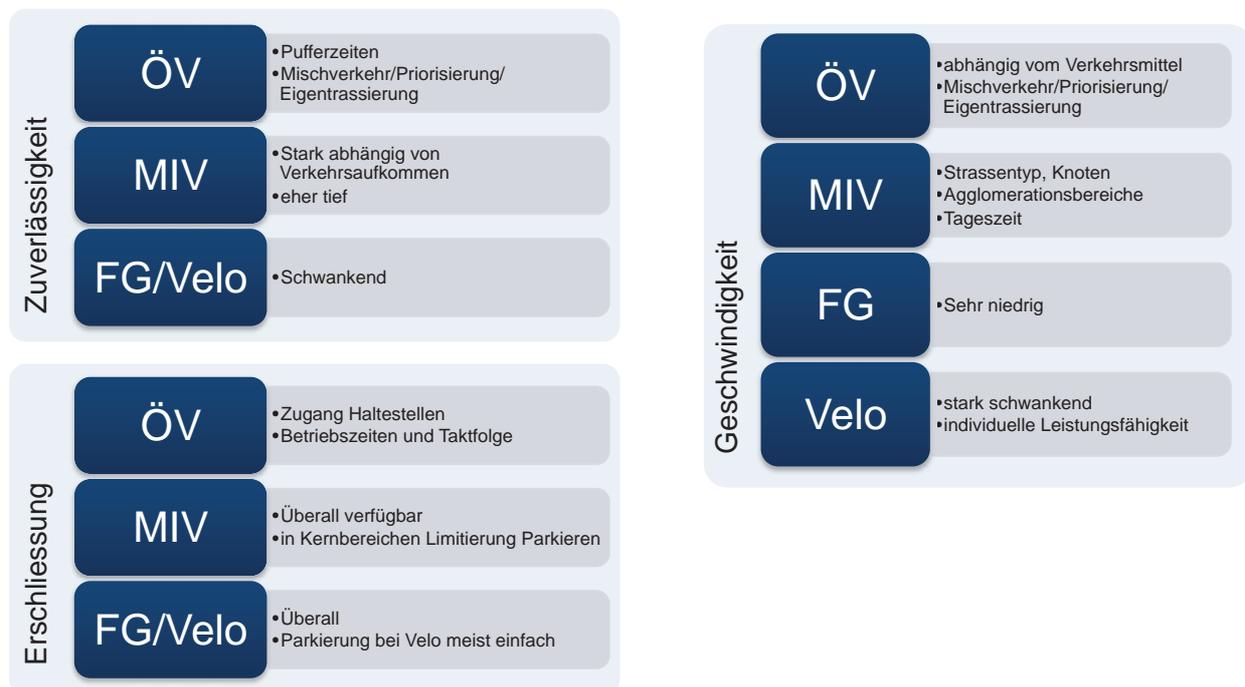
Grundlagen	
U-Bahn klein	50 m
U-Bahn gross	100 m
S-Bahn klein	100 m
mittl. Pendelzug	200 m
langer Pendelzug	300 m
DPZ	100 m
Tram kurz	20 m
Tram mittel	37 m
Tram lang	45 m
Standardbus	12 m
Gelenkbus	18 m
Doppelgelenkbus	25 m

3.1 Leistungsfähigkeiten MIV/LV



	Agglomerationsgürtel, HVZ		Kernstadtring, HVZ		Stadtkern, HVZ		Spezifische Leistungsfähigkeit nach Fahrbahnbreite, HVZ	Besonderes	
	Fahrstreifenbreite [m]	VQS [P/h]	VQS [P/h]	VQS [P/h]	VQS [P/h]	VQS [P/h]			
Hauptverkehrsstrasse	3.5	900	D	1'800	E	< 900	E	260-515	
Hochleistungsstrasse	4	2'700	D	3'000	E	-	-	675-750	
Fussgänger	2.5	1'660	B	1'660	B	1'660	B	830	Gegenrichtungsverkehr
	4	3'100	B	3'100	B	3'100	B	775	Gegenrichtungsverkehr
Fahrrad	2	430	D	430	D	200	D	100-215	Gegenrichtungsverkehr
	2	1'000	E	1'000	E	< 1'000	E	500	Richtungsverkehr

3.1 Zuverlässigkeit, Geschwindigkeit, Erschliessung



3.1 Zusammenfassung Leistungskennwerte



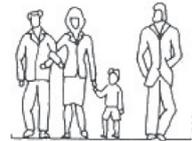
ÖV

- Hohe Leistungsfähigkeiten
- Erschliessung beschränkt
- Zuverlässigkeiten schwanken



MIV

- hohe Geschwindigkeit
- gute Erschliessung
- mässige Leistungsfähigkeit
- niedrige Zuverlässigkeit



FG

- sehr gute Erschliessung
- begrenzte Reichweite
- geringe Geschwindigkeit



Velo

- sehr gute Erschliessung
- schwankende Geschwindigkeiten
- begrenzte Reichweiten

	FG	Velo	Bus	Tram	SBahn	UBahn	MIV	Seilbahnen
LF [P/h], komfortorientiert	700 - 3'500	100 - 700	1500-3000	2000-5000	4500-18000	3000-10000	4000-6000	2800-8000
Haltestellenabstand [m]	-	-	300 - 700	300 - 700	2'000-3'500	500 - 1'500	-	100-5000
Reisegeschwindigkeit [km/h]	5	20	20	20	40-50	30	30-60	20-50
Erschliessungsqualität	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Tief - Mittel	Tief - Mittel	Hoch	Tief
Zuverlässigkeit	Mittel	Mittel	Tief - mittel	Tief - mittel	Hoch	Hoch	Tief	Hoch
Zeitliche Verfügbarkeit	Sehr hoch	Sehr hoch	Mittel - hoch	Mittel - hoch	Mittel	Mittel	Sehr hoch	Mittel - Hoch
Räumliche Verfügbarkeit	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Sehr hoch	Niedrig

3.2 Auswirkungen der Verkehrsmittel

6 Untersuchungsbereiche

Verkehrssicherheit

- Tote und Verletzte
- Unfälle mit Sachschäden

Flächennutzung

- Flächenverbrauch für Verkehrswege
- Flächen für Zugangsanlagen
- Flächen für Betriebsanlagen

Lebensqualität

- Wahrnehmung durch Anwohner
- Aufenthaltsqualität am Verkehrsraum
- Attraktivität/Aufwertung von Siedlungen

Emissionen und Umwelt

- Lärm
- PM10
- CO/CO₂/C_xH_x/NO_x
- Ozon
- Energieverbrauch

Verkehrsausgaben

- Betriebskosten

Vandalismus

- Kosten und Ausmass

3.2 Auswirkungen der Verkehrsmittel

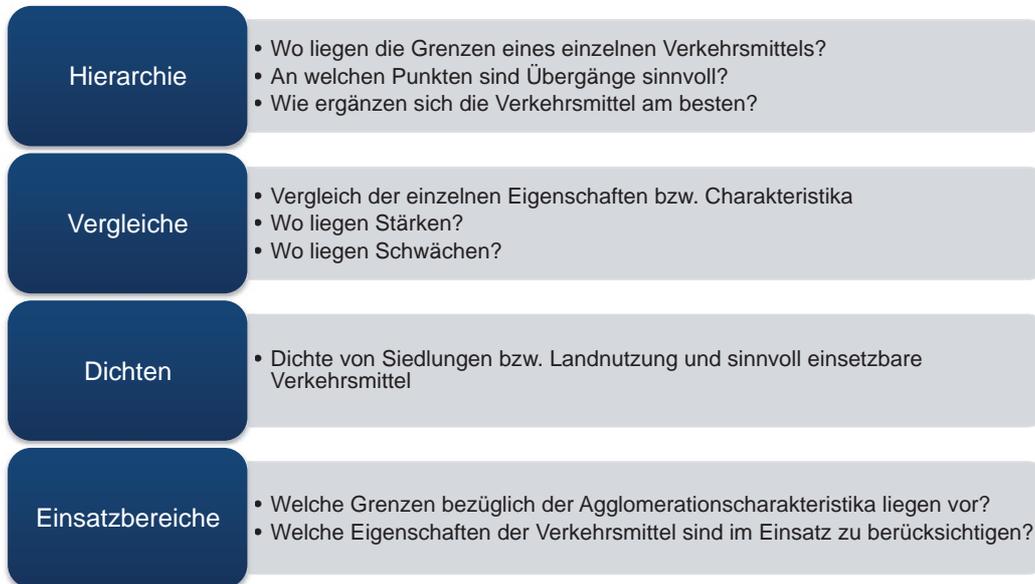
- ÖV sicher und effizient
- FG/Velo sehr günstig und Umweltfreundlich
- MIV wenige Vorteile

	FG	Velo	Bus	Tram	S-Bahn	U-Bahn	MIV	
Verkehrssicherheit	mittel	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch	niedrig	
Flächenverbrauch	Sehr gering	gering	mittel	gering	mittel	mittel	Sehr hoch	
Einfluss Lebensqualität	positiv	positiv	kaum	positiv	positiv	positiv	negativ	
Umweltbelastung	keine	keine	mittel	mittel	mittel	niedrig	sehr hoch	
Betriebswirtschaftliche Kosten [CHF/Fz-km]	-	-	5 - 10	13 - 16	10 - 25	10 - 25	0.3 – 2	
Vandalismus			vor allem ÖV-spezifisches Problem, bisher jedoch kaum systematisch erfasst					

3.3 Fazit

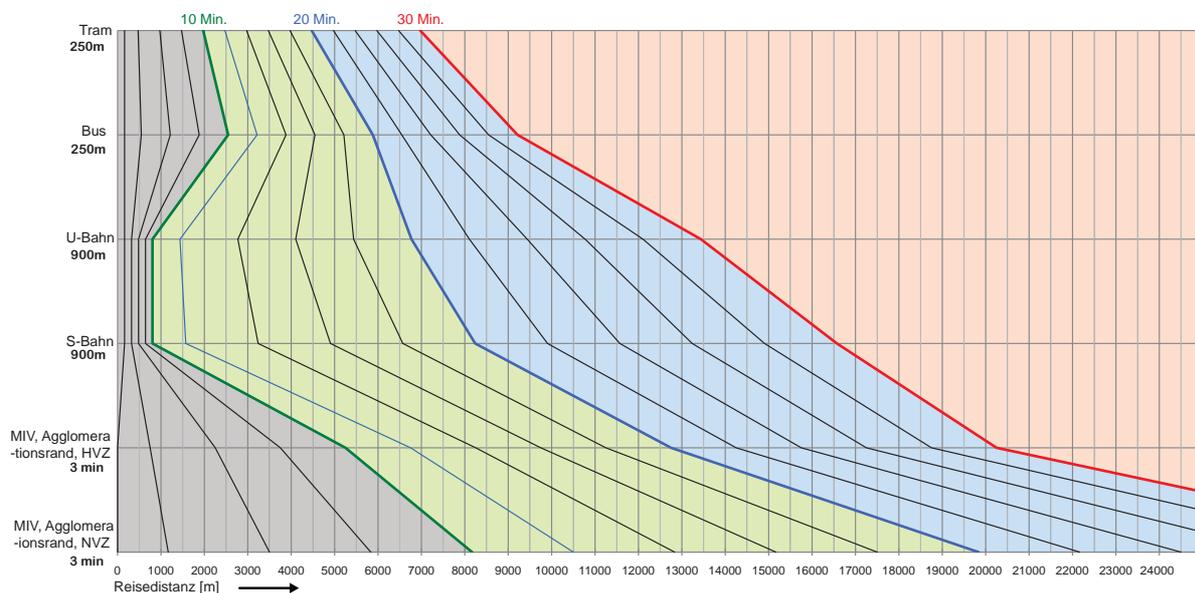
ÖV	leistungsfähig, ressourcenschonend
	hohe Fixkosten, Erschliessung von dispersen Strukturen schwierig
	Grundstein für sinnvolle Mobilitätsstrategie
MIV	gute Erschliessung, schnell
	teuer, hoher Ressourcenverbrauch, geringste Sicherheit
	Rückgrat für Erschliessung, kaum verzichtbar
Fussgänger/ Velo	sauber, sehr gute Erschliessung
	geringe Leistungsfähigkeit, Geschwindigkeit und Reichweite
	vor allem additiv und als Feinverteiler, in grossem Massstab kaum möglich

4 Einsatzbereiche



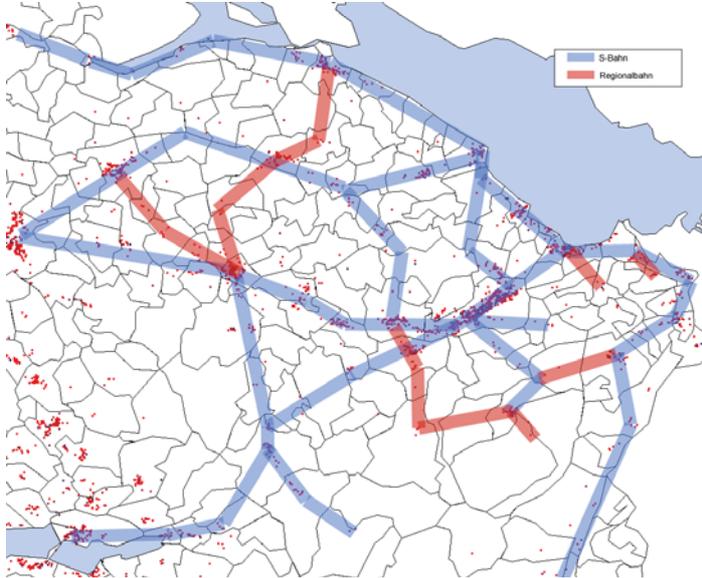
4.1 Einsatzbereiche

Hierarchie der Verkehrsmittel: Vergleich der Reichweiten je Zeit



4.1 Einsatzbereiche

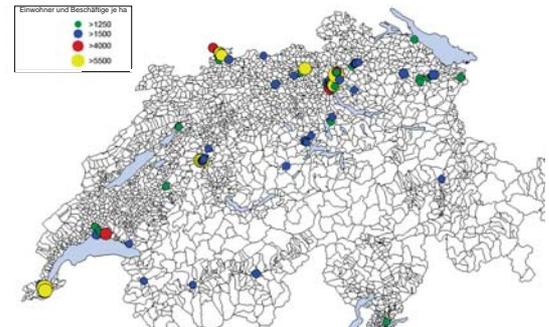
- S-Bahn Korridore mit 100 EW+Arbeitsplätze/ha
- Stadtbahn-/Tramsysteme nur in dichtesten Agglomerationen



Siedlungsdichten und ÖV-Korridore Nordostschweiz, Tarifverbund Ostwind

Kategorie	Verkehrsmittel										Einwohnerzahl von...bis (in Tausend)	Anzahl Agglomerationskern	
	Regionaltaxi	Städtische Buslinien	U-Bahn	Tram	Leichtmetallbus	Autobahn innerhalb Agglo	Autobahn außerhalb Agglo	Städtische S-Bahn	Regionale S-Bahn	Regionale S-Bahn			Regionale S-Bahn
Kat. 1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	250 - 1'000	9
Kat. 2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	115 - 249	14
Kat. 3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	60 - 114	13
Kat. 4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	55 - 60	1
Kat. 5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	45 - 54	7
Kat. 6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	27 - 44	9
Kat. 7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	20 - 26	10
Kat. 8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	10 - 19	6

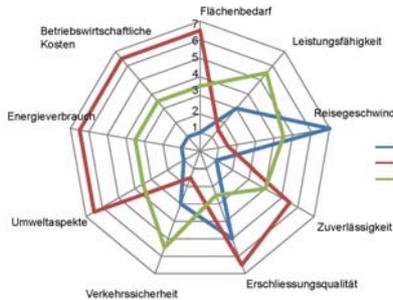
A: Verkehrsmittel in allen Agglomerationen vorhanden
 T: Verkehrsmittel teilweise vorhanden
 0: Verkehrsmittel nicht vorhanden



Siedlungsdichte in Agglomerationskernen

4.1 relative Eigenschaften

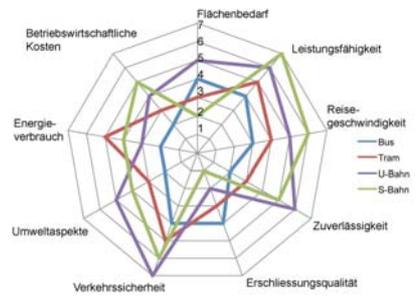
Vergleich der Verkehrsmittelgruppen



Vergleich der Individualverkehrsmittel



Vergleich der öffentlichen Verkehrsmittel



4.1 Einsatzprofile

	Einwohner der Agglomeration, min.	Siedlungsdichte der Agglomeration, min. [EW/ha]	Nutzungsdichte Kern, min. [EW&Arbeitsplätze/ha]	Virtueller Radius, min. [km]	Leistungsfähigkeit ¹
U-Bahn ²	300000	38	4000	5.1	3000-10000
Stadtbahn	300000	38	5000	6.1	3000-6000
Autobahn: Teile eines Ringes	120000	35	1500	3.3	4000-6000
S-Bahn Knoten ³	95000	25	1250	2.4	4500-18000
Strassenbahn/Tram	75000	34	4000	2.7	2000-5000
S-Bahn-Anschluss	-	-	100	-	4500-18000
Regionalbahn	-	-	100	-	4500-10000
Stadtbus	-	-	100	-	1500-3000
Autobahn/HVS: innerstädtisch	-	20	-	1.8	4800-7200
Autobahn/HVS: agglomerationsintern	-	-	-	-	4800-7200
Autobahn: Anschluss	-	-	-	-	4800-7200
Velo	-	-	-	-	100-700
Fussgängerzone (2.5m – 4m Breite)	-	-	-	-	680 – 3100

¹ Leistungsfähigkeit (auf gesamter Linie) P/h, bei MIV unter Annahme von 1.2 Personen pro Fahrzeug

² Sonderfall, Angabe eher der Vollständigkeit halber

³ Zentraler Punkt eines S-Bahn-Systemes wie Zürich HB, nicht lediglich Umsteigeplatz

4.1 Einsatzcharakteristika

	Flächenverbrauch, relativ zur Beförderungsleistung	Umwelt			Kosten [CHF/km]	Beförderungsgeschwindigkeit [km/h]	Sicherheit
		Luftschadstoffe	Lärmbelastungen	Energieeffizienz			
S-Bahn	Eher niedrig	Wenig	Erheblich	Sehr gut	17-23	40-50	Sehr gut
Regionalbahn	Eher niedrig	Wenig	Erheblich	sehr gut	10-25	40-50	Sehr gut
U-Bahn	Sehr niedrig	Wenig	Deutlich	Gut	10-25	25-35	Sehr gut
Stadtbahn (inkl. Tram-Train)	Sehr niedrig	Wenig	Deutlich	Gut	13-16	25-35	Sehr gut
Strassenbahn/Tram	Sehr niedrig	Wenig	Deutlich	gut		15-25	Gut
Stadtbus - elektrisch	Niedrig	Eher wenig	deutlich	gut	8-10	15-25	Gut
Stadtbus - diesel	Niedrig	deutlich	Deutlich	gut	5-9	15-25	Gut
MIV	Sehr hoch	Erheblich	Deutlich	Schlecht	0.3-2	30-60	Schlecht
Velo	Sehr niedrig	keine	keine	-	-	20	Eher gut
Fussgängerzone	Sehr niedrig	keine	keine	-	-	5	Eher gut

4.2 Untersuchungsfragen

Einsatzkriterien und -merkmale

- Einwohnerzahl und Landnutzungsdichte als Hauptkriterien auf Ebene Gesamtagglomeration.

Erfolgsfaktoren

- klar ausgeprägte Korridore hoher Dichte, effiziente Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel

nötige Funktionen

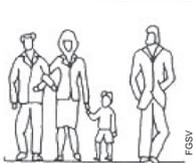
- abhängig von jeweiliger Agglomeration: je grösser, desto mehr internes Aufkommen und Einpendler

Schwellenwerte

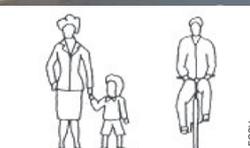
- Grenzwerte als Anleitung wurden erarbeitet

sinnvolle Einsatzbereiche

- FG/Velo stark begrenzt aber als Zugang ÖV wichtig
- MIV letztendlich kaum verzichtbar aufgrund hoher Flexibilität und Verfügbarkeit
- Schienenverkehrssysteme erst in sehr grossen Agglomerationen sinnvoll
- In Spezialfällen Spezialsysteme, z.B. Seilbahnen



Fragen?



Zusammenfassung

Einleitung und Fragestellung

Anlass

Die mehr als hundertjährige Entwicklung der Agglomerationsverkehrssysteme in der Schweiz hat zu den heutigen hochwertigen und leistungsfähigen Systemen geführt. Diese stützen sich auf den möglichst sinnvollen Einsatz der verschiedenen einzelnen Verkehrsmittel, um zu einem im Ganzen abgestimmten Ensemble zu führen, welches entscheidend zur Attraktivität der schweizerischen Städte und Agglomerationen beiträgt.

Städte und Ihre Agglomerationen sind dabei dynamische Gebilde, die sich laufend fortentwickeln und verändern. Besonders die grossen Agglomerationen unterliegen einem stetigen Wachstumsprozess. Darüber hinaus stehen viele schweizerische Agglomerationen, auch hier besonders die grösseren, durch ihre Lage in oder nahe bei Grenzbereichen in dauernder Standortkonkurrenz zu ausländischen Agglomerationen, die ebenfalls laufend ihre Attraktivität zu erhöhen suchen.

Um in diesem Umfeld konkurrenzfähig zu bleiben, ist es nötig, die Versorgungsinfrastrukturen, zu denen eben auch die Verkehrssysteme zählen, an die Entwicklungen anzupassen und um den Anforderungen gerecht zu werden und einen Qualitätsvorsprung zu bewahren. Gleichzeitig werden aber die Ressourcen für einen Ausbau der Verkehrssysteme zunehmend knapper.

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, bei der Weiterentwicklung der Verkehrssysteme die Stärken und Schwächen der einzelnen Verkehrsmittel genau zu kennen. Dazu gehören sinnvolle Einsatzbereiche sowie Faktoren, die den sinnvollen Einsatz eines Verkehrsmittels bedingen. Nur so können die verschiedenen Verkehrsmittel zu Verkehrssystem zusammengefügt werden, das seine Aufgabe effizient und unter Minimierung der negativen Auswirkungen erfüllt.

Fragestellung

Aus der eingangs beschriebenen Situation ergibt sich nunmehr eine Reihe von Fragen, deren Beantwortung das Ziel dieser Arbeit ist:

1. Welche Einsatzkriterien und –Merkmale der Verkehrsmittel können bestimmt werden?
2. Welches sind die Erfolgsfaktoren für einen wesensgerechten Einsatz und das Zusammenspiel innerhalb und zwischen den einzelnen Verkehrsmitteln?
3. Welche Funktionen müssen Verkehrssysteme in welchen Agglomerationstypen erfüllen?
4. Wo liegen die Schwellenwerte bezüglich der Nachfrage und Nachfragestruktur für den Einsatz der einzelnen Verkehrsmittel?

5. Welches sind die sinnvollen Einsatzbereiche der einzelnen Verkehrsmittel in den Agglomerationen aus technischer, wie auch aus ökonomischer Sicht?

Vorgehen der Untersuchung

Arbeitshypothese

Der Bearbeitung der Studie wird zu Grunde gelegt, dass der heutige Zustand des Verkehrsmitelesinsatzes in den schweizerischen Agglomerationen das Ergebnis eines langen, evolutiven Prozesses sei. Somit seien nicht zweckgemässe Anwendungen von Verkehrsmitteln gescheitert und folglich nicht mehr präsent, während besonders sinnvolle Konzepte in vielen Fällen Anwendung gefunden haben. Selbstverständlich stellt auch diese Betrachtung nur eine Momentaufnahme dar, damit erfasst sie aber die Ausgangslage und beschreibt die für die Planungszeiträume zur Verfügung stehenden Mittel.

Methodik

Von der Arbeitshypothese ausgehend wird eingehend der aktuelle Stand des Verkehrsmitelesatzes in den schweizerischen Agglomerationen untersucht. Ausserdem erfolgt eine Untersuchung dieser Agglomerationen im Hinblick auf solche Strukturmerkmale, die die sinnvollen Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Verkehrsmittel massgeblich beeinflussen. Es werden dabei 50 Agglomerationen und 5 isolierte Städte gemäss der Definition des schweizerischen Bundesamtes für Statistik (BFS) einbezogen.

Bei der Zusammenstellung des aktuellen Stands des Verkehrsmitelesatzes wird zunächst für eine Reihe von Verkehrsmitteln erfasst, in welchen Agglomerationen sie im Einsatz sind. Dabei wird auf das Vorhandensein folgender Verkehrsmittel, beziehungsweise Ausprägungen des Einsatzes bestimmter Verkehrsmittel, geprüft:

- Eigenes S-Bahn-System: Ist eine Agglomeration Zentrum eines eigenen S-Bahn-Systems oder verfügt sie über einen S-Bahn-Hauptknoten?
- Integration in ein S-Bahn-System: Ist eine Agglomeration mit mindestens zwei Halten in das S-Bahn-System einer anderen Agglomeration eingebunden?
- Regionalbahn: Verfügt eine Agglomeration über Regionalbahnhalte? Eine Regionalbahn ist hierbei als ein Angebot definiert, das sich im Hinblick auf Frequenz und Fahrgastkapazität unterhalb einer S-Bahn befindet.
- U-Bahn: Dieses Kriterium ist vor allem der Vollständigkeit halber aufgeführt. Da in der Schweiz jedoch nur ein U-Bahn-System existiert und dieses eher einen Sonderfall darstellt, lassen sich hieraus zunächst keine Schlüsse ziehen.
- Stadtbahn: Technisch einem Strassenbahnsystem ähnlich, sind bei einer Stadtbahn ein hoher Eigentrassierungsanteil, teilweise auch eine technische Zugsicherung vorzufinden.

- Strassenbahnen: Im Gegensatz zu Stadtbahnen sind hier keine oder nur in wenigen Fällen getrennte Fahrwege zu finden.
- Stadtbus: Ein agglomerationsinternes Busnetz, das zur Normalverkehrszeit mindestens einen 15-Minuten-Takt bietet und mit Fahrzeugen von der Grösse eines Standardbusses oder grösser bedient wird.
- Teile eines Autobahnringes: Dieses und die drei folgenden Kriterien schliessen Hochleistungsstrassen mit ein, deren Ausbauzustand ähnlich dem einer Autobahn ist.
- Städtische Autobahn: Ein Autobahnanschluss innerhalb des Stadtgebietes.
- Autobahnverbindung innerhalb einer Agglomeration
- Autobahnanschluss innerhalb einer Agglomeration
- Velostation: Das Vorhandensein von Velowegen in allen Agglomerationen wird vorausgesetzt. Es wird hierbei, auch als Mass der multimodalen Integration, untersucht, ob an Bahnhöfen Velostationen vorhanden sind.
- Fussgängerzone: Das Vorhandensein einer Fussgängerzone in der Kernstadt einer Agglomeration.

Daneben werden auf Ebene der Gesamttagglomeration folgende Kenngrössen erfasst und deren Zusammenhang mit dem Verkehrsmiteinsatz untersucht:

- Einwohnerzahl einer Agglomeration
- Siedlungsdichte einer Agglomeration
- Virtueller Radius einer Agglomeration: Der virtuelle Radius ist definiert als der Radius eines imaginären Kreises mit dem gleichen Flächeninhalt wie die Agglomeration. Mittels dieser Grösse soll ein Rückschluss auf Pendlerdistanzen ermöglicht werden.
- Strukturtyp bzw. „Form“ einer Agglomeration: Es werden 5 Grundtypen definiert und untersucht, welchem eine jeweilige Agglomeration entspricht.
- Kernnutzungsdichte: Die Anzahl der Arbeitsplätze und Einwohner pro Hektar, erhoben auf Hektarbasis. Die Kernareale von Agglomerationen ergeben sich bei dieser Betrachtung durch eine Ansammlung vieler besonders intensiv genutzter Hektaren.

Es erfolgt im Anschluss daran eine Zusammenstellung der relevanten Eigenschaften der verschiedenen Verkehrsmittel. Diese gliedert sich in eine Zusammenstellung der Leistungskennwerte und eine Zusammenstellung der Auswirkungen, also der positiven und der negativen Outputs eines Verkehrsmittels.

Diese Erkenntnisse werden schliesslich zusammengeführt und es werden daraus Richtwerte bezüglich der verschiedenen Kriterien abgeleitet, die für den Einsatz eines bestimmten Verkehrsmittels erreicht werden sollten. Es ist dabei zu beachten, dass diese naturgemäss als grobe Richtwerte zu verstehen sind und nicht für eine detaillierte Planung geeignet sein sollen. Die Richtwerte erlauben jedoch eine schnelle Einordnung einer betrachte-

ten Agglomeration bzw. eines betrachteten Projektes.

Bestandsaufnahme: die schweizerischen Agglomerationen und ihr Verkehrsmiteinsatz

Übersicht über die schweizerischen Agglomerationen

Die untersuchten Agglomerationen haben Einwohnerzahlen zwischen 10,000 und 1,080,000. Es ist dabei zu beachten, dass für die grenzüberschreitenden Agglomerationen Basel und Genf aus Gründen der Datenverfügbarkeit für andere Kriterien nur der schweizerische Anteil betrachtet wird. Bezieht man die verfügbaren Daten zum deutschen bzw. französischen Teil mit ein, bleiben jedoch die Grössenordnungen und Reihenfolgen unverändert. Aufgrund markanter Sprünge zwischen Gruppen von Agglomeration werden vier Grössenklassen definiert. In Bezug auf die Strukturtypen ist festzuhalten, dass grössere Agglomerationen eindeutig zu Strukturen neigen, die über deutlich ausgeprägte Korridore verfügen. Diese fallen zusammen mit Linien des hochleistungsfähigen öffentlichen Verkehrs (ÖV). Obschon hier eine „Ei-oder-Huhn“ Frage besteht, also ob die Landnutzung den Bahnkorridoren folgte oder umgekehrt, lässt sich festhalten, dass aus der Präsenz des Einen die Sinnhaftigkeit des Anderen folgt. Dies legt nahe, dass ein bestehender Siedlungsdruck mittels qualitativ hochwertiger ÖV-Anbindungen gelenkt werden kann.

Verkehrsmiteinsatz in der Schweiz heute

Die Ergebnisse der Untersuchung auf das Vorhandensein der verschiedenen Verkehrsmittel sind ebenfalls in Abb. 1 zusammengestellt.

Kategoriebestimmende Verkehrsmittel Weitere Verkehrsmittel

Regionalbahn	städtische Autobahn	Fussgängerzone in Kernstadt	Autobahn innerhalb Agglo	Stadtbus	Eigenes S-Bahn-System	Strassenbahn	integriert in ein S-Bahn-System	Stadtbahn	Teile eines Autobahnring	mind. Ein Autobahnanschluss	Velostation	U-Bahn	Einwohnerzahl von...bis (in tausend)	Anzahl Agglomerationen	
A	t	A	A	A	A	A	A	t	t	A	t	t	Kat. 1	250 - 1'080	5
A	A	A	A	A	A	0	A	0	0	A	A	0	Kat. 2	115 - 249	4
A	t	A	A	A	t	t	t	0	t	A	t	0	Kat. 3	60 - 114	13
A	t	A	A	t	0	0	A	0	0	A	t	0	Kat. 4	55 - 60	1
A	t	A	t	t	t	0	t	0	0	t	t	0	Kat. 5	45 - 54	7
A	t	t	t	t	0	0	t	0	0	t	t	0	Kat. 6	27 - 44	9
A	0	t	t	t	0	0	t	0	0	t	t	0	Kat. 7	20 - 26	10
t	0	t	t	t	0	0	t	0	0	t	t	0	Kat. 8	10 - 19	6

A Verkehrsmittel in allen Agglomerationen vorhanden
t Verkehrsmittel teilweise vorhanden
0 Verkehrsmittel nicht vorhanden

Abb. 1 Agglomerationsklassen, -verkehrsmittel und -eigenschaften.

Es wird dabei zunächst unterschieden zwischen „kategoriebestimmenden“ und anderen Verkehrsmitteln. Die kategoriebestimmenden sind dabei solche Verkehrssysteme, mittels derer eine Einteilung der Agglomerationen in Bezug auf Verkehrsmiteinsatz und Einwohnerzahl möglich ist. Dieses führt zu acht Kategorien, die bis auf vier Ausnahmen mit den nach Agglo-

merationsgrösse definierten Grössenklassen konsistent sind und diese weiter unterteilen. Die vier Agglomerationen, die hierbei Ausnahmen darstellen, liegen nur leicht über bzw. unter den Grenzwerten bezüglich der vier Grössenklassen, was lediglich unterstreicht, dass die hier erarbeiteten Grenzwerte Anhaltspunkte und keine harten Grenzen darstellen.

Die Betrachtung der Kernnutzungsdichten zeigt ausserdem, dass sich städtische Schienenverkehrssysteme (Tram, Stadtbahn und S-Bahn) nur in den grössten und dichtesten Agglomerationen eignen, die im Falle der S-Bahn ausserdem über ein Umland mit ausreichend dicht besiedelten Gebieten verfügen.

Nutzung der Verkehrssysteme

Es werden weiter für die untersuchten Agglomerationen auf Ebene der jeweiligen Gesamtagglomeration Kennzahlen zur Nutzung des Verkehrssystems als Ganzem sowie der einzelnen Verkehrsmittel und die negativen Auswirkungen erhoben. Bezüglich der Nutzung der Verkehrsmittel ist dabei festzuhalten, dass der Anteil der ÖV-Nutzer und Fussgänger mit steigender Grösse einer Agglomeration steigt. Nicht überraschend ist der Zustand, dass in den grössten Agglomerationen auch die höchsten Werte der Umweltbelastung vorliegen. Dies unterstreicht, dass bei der Wahl der einzusetzenden Verkehrsmittel besonders in den grössten Agglomerationen neben einer hohen Kapazität auch auf möglichst niedrige Umweltauswirkungen geachtet werden soll.

Eigenschaften der einzelnen Verkehrsmittel

Leistungskennwerte

Für alle Verkehrsmittel werden Leistungskennwerte als deren verkehrlicher „Output“ untersucht. Diese Kennwerte bzw. Eigenschaften der Verkehrsmittel sind bestimmt für die Einsatzbereiche, für welche sie sich besonders eignen oder unter welchen Randbedingungen sie operieren:

- Leistungsfähigkeit: Der Fahrgastdurchsatz pro Zeiteinheit.
- Haltestellenabstand: Dieser erlaubt im ÖV Rückschlüsse auf Zugangsdistanzen und -zeiten.
- Die Reisegeschwindigkeit, unter Berücksichtigung von Halten
- Die Erschliessungsqualität: Hiermit wird festgehalten, wie gut Einzelziele erreichbar sind. Diese Bewertung erfolgt qualitativ und ist wie auch die nachfolgenden Kriterien von betrieblichen Entscheidungen abhängig. Diese basieren jedoch darauf, was sinnvoll angeboten werden kann und reflektieren damit die jeweiligen Eigenschaften eines Verkehrsmittels.
- Die Zuverlässigkeit: Die unterschiedlichen Technologien und Betriebsarten der Verkehrsmittel resultieren in verschiedenen Zuverlässigkeitswerten. So sind beispielsweise S-Bahnsysteme durch den eigenen Verkehrsweg vom MIV unabhängig und erzielen weitaus höhere Pünktlichkeitswerte.

- Die zeitliche Verfügbarkeit: Nicht alle Angebote sind rund um die Uhr verfügbar, gerade beim ÖV führt dies in Randzeiten zu einer schlechteren Verfügbarkeit.
- Die räumliche Verfügbarkeit: Im ÖV kann keine 100%-Abdeckung eines Gebietes erreicht werden, je nach Verkehrsmittel unterscheiden sich die sinnvoll erzielbaren Bedienungsbereiche.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der schienengebundenen ÖV die höchsten Leistungsfähigkeiten aufweist, andererseits ist der Zugang dort auch am umständlichsten. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) bietet bei einer guten Erschließung und durchschnittlicher Leistungsfähigkeit eine sehr hohe Reisegeschwindigkeit, während der Langsamverkehr (LV), also der Fuss- und Veloverkehr, die beste Erschließung bietet, aber die niedrigsten Reisegeschwindigkeiten aufweist.

Abb. 2 Zusammenstellung der Leistungskennwerte

	FG	Velo	Bus	Tram	S-Bahn	U-Bahn	MIV	Seilbahnen
LF [P/h], komfortorientiert	700 - 3'500	100 - 700	1'500 - 3'000	2'000 - 5'000	4'500 - 18'000	3'000 - 10'000	4'000 - 6'000	2'800-8'000
Haltestellenabstand [m]	-	-	300 - 700	300 - 700	2'000-3'500	500 - 1'500	-	100-5'000
Ø Reisegeschwindigkeit [km/h]	5	20	20	20	40-50	30	30-60	20-50
Erschließungsqualität	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Tief - Mittel	Tief - Mittel	Hoch	Tief
Zuverlässigkeit	Mittel	Mittel	Tief - mittel	Tief - mittel	Hoch	Hoch	Tief	Hoch
Zeitliche Verfügbarkeit	Sehr hoch	Sehr hoch	Mittel - hoch	Mittel - hoch	Mittel	Mittel	Sehr hoch	Mittel - Hoch
Räumliche Verfügbarkeit	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Mittel	Sehr hoch	Niedrig

Auswirkungen

Der Einsatz eines jeden Verkehrsmittels ist zwangsläufig mit dem Verbrauch von Ressourcen und Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt verbunden. Dies gilt auch, wenn auch in stark eingeschränkter Masse, für den Langsamverkehr. Diese Untersuchung geschieht im Hinblick auf folgende Aspekte:

- Verkehrssicherheit: Der öffentliche Verkehr ist mit einer personen-kilometerbezogenen Unfallrate, die einem hundertstel derer des MIV entspricht, weitaus sicherer als der motorisierte Individualverkehr. Bezogen auf die Anzahl der Unfälle und der Personenschäden ist im ÖV auch ein höheres Sicherheitsniveau als geboten als im LV.
- Flächennutzung: Der MIV hat den höchsten Flächenverbrauch pro Verkehrsleistung, während die niedrigsten Werte beim LV vorliegen. Da sich MIV, Bus und Strassenbahn im gleichen Verkehrsraum bewegen können, sind hier Platzeinsparungen möglich, allerdings auf Kosten der Leistungsfähigkeit.
- Lebensqualität im öffentlichen Raum: Verkehrssysteme beeinflussen die Siedlungsentwicklung auf vielfältige Art und Weise. Es kann festgehalten werden, dass besonders die Bodenpreise, Siedlungsstruktur und

Landnutzung beeinflusst werden. Der S-Bahn wird dabei ein wesentlicher Beitrag zur Innenverdichtung von stationsnahen Arealen zugeschrieben. Gleichzeitig sind Bodenpreise an gut erschlossenen Lagen, also besonders um Bahnstationen, höher als im Umfeld. Darüber hinaus wird in Bahnkorridoren festgestellt, dass der Automobilbesitz geringer und die Einkommen höher sind.

- Emissionen und Energieverbrauch: Im Verkehr werden bedeutende Mengen an Schadstoffen und –Einwirkungen erzeugt. Diese sind nicht vermeidbar, aber schwanken stark zwischen den Verkehrsmitteln. Besonders vom Strassenverkehr gehen hohe Belastungen aus. Aufgrund der dort in der Regel sehr niedrigen Besetzungsgrade führt dies zu sehr hohen personenbezogenen Belastungen bzw. Verbrauchswerten. Eine nachhaltige Mobilitätsstrategie muss daher alle Verkehrsträger sinnvoll einbeziehen und sich in hohem Masse auf dem öffentlichen Verkehr stützen.
- Verkehrsausgaben: Die Investitionskosten werden hierbei nicht vergleichend berücksichtigt, da diese sehr stark von lokalen Gegebenheiten abhängen und somit grossen Schwankungen unterliegen. Damit sind auch Durchschnittswerte wenig hilfreich, da die tatsächlichen Kosten je nach Einsatzbereich und Ausführung weit über oder unter einem Durchschnitt liegen können. Die betriebswirtschaftlichen Kosten im LV sind kaum vorhanden, während sie bei MIV und besonders ÖV sehr hoch sind. Aufgrund der hohen Fahrleistungen und Fahrzeugbesetzung ist der ÖV jedoch bezogen auf die Beförderungsleistung weitaus günstiger.
- Vandalismus: Die Erfassung von Delikten hängt stark von der jeweiligen Unternehmenskultur ab. Es liegen daher kaum vergleichbare Werte vor und es kann von einer hohen Dunkelziffer ausgegangen werden. Eindeutig ist jedoch, dass im ÖV dadurch beträchtliche Kosten entstehen.

Einsatzprofile

Hierarchie und Einsatzbereiche der Verkehrsmittel

Aus den Leistungskennwerten und Auswirkungen wird deutlich, dass die ökonomisch sinnvollen Einsatzbereiche der öffentlichen Verkehrsmittel deutlich gestuft sind. Eine weitere Betrachtung, welche Betriebskosten je Laufleistung, Beförderungsgeschwindigkeiten sowie die Kapazität einbezieht verdeutlicht dies. Die ÖV-Verkehrsmittel lassen sich vereinfacht in der Reihenfolge Bus, Tram, S-Bahn gruppieren, wobei es für jedes Verkehrsmittel einen Bereich gibt, innerhalb dessen der Einsatz optimal ist. Dieser Bereich ist begrenzt durch sinnvolle Plankapazitäten und Geschwindigkeiten. Oberhalb des sinnvollen Kapazitätsbereiches steigen die Kosten sehr stark an, das gleiche gilt für zu niedrige Beförderungsgeschwindigkeiten, da damit ein stark erhöhter Bedarf an Kursen bzw. Fahrzeugen einher geht. Für ein jeweils höher gereihtes Verkehrsmittel gelten analog Untergrenzen bezüglich der Nachfrage, also der Kapazitätsauslastung, unter denen die höheren Fixkosten nicht durch eine ausreichend hohe Zahl von Fahrgästen gerechtfertigt und kompensiert werden.

Diese Hierarchie wird auch in der Betrachtung der Reichweite in Abhän-

gigkeit der Reisezeiten, die sich aus Zugangszeiten und Beförderungsgeschwindigkeiten ergeben, wiedergegeben. So bieten Wege mit den „niedrigeren“ Verkehrsmittel auf kurzen Entfernungen die kürzesten Reisezeiten. Auf längeren Distanzen erlauben dagegen mehr und mehr die „höheren“ Verkehrsmittel kurze Reisezeiten, da sie längere Zugangswege durch eine erhöhte Beförderungsgeschwindigkeit kompensieren (Abb. 3). Die logische Folge daraus ist, die verschiedenen Verkehrsmittel entsprechend ihrer optimalen Rolle miteinander zu integrieren. Festzuhalten ist ausserdem, dass der MIV in jedem Falle die höchsten Betriebskosten verursacht, aber oft die kürzesten Reisezeiten bietet.

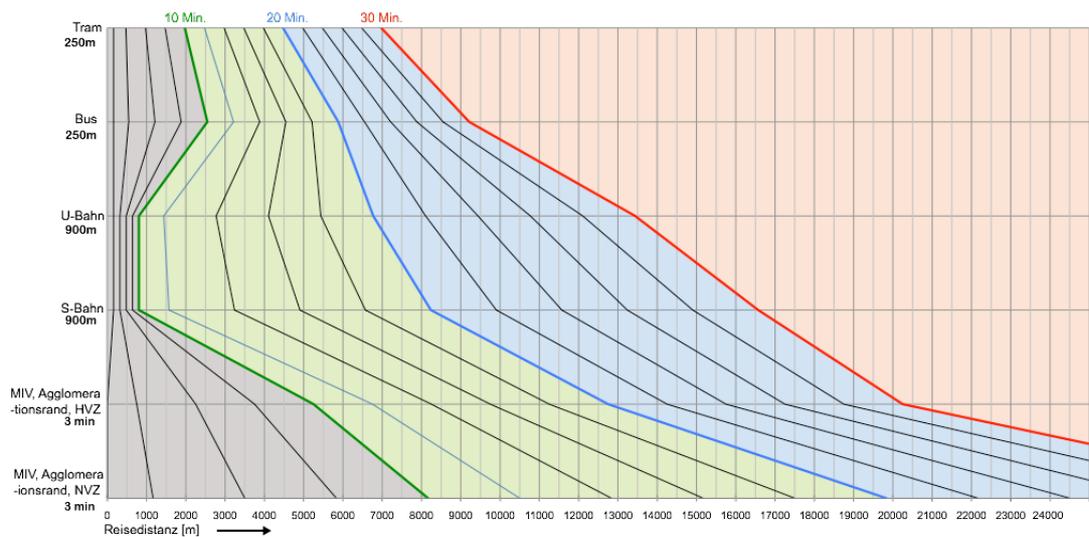


Abb. 3 Verkehrsmittelreichweiten in Abhängigkeit von der Reisezeit

Relative Vor- und Nachteile

Anhand der Ergebnisse lassen sich die Verkehrsmittel anhand ihrer Eigenschaften relativ zu einander einordnen. Dabei zeigen sich die besonderen jeweiligen Stärken und Schwächen der Verkehrsmittel. Wie aus Abb. 4 deutlich wird, ist der Langsamverkehr vorteilhaft im Hinblick auf Ressourcenverbrauch und Erschliessungsqualität während die Geschwindigkeiten sehr niedrig sind. Die Stärken des ÖV liegen in einer sehr hohen Leistungsfähigkeit und Sicherheit bei geringem Ressourcenverbrauch, allerdings sind die Reisegeschwindigkeiten begrenzt und die Erschliessungsqualität niedrig. Der MIV bietet dagegen die höchsten Reisegeschwindigkeiten sowie eine gute Erschliessung, allerdings bei hohem Ressourcenverbrauch und niedrigerer Sicherheit.

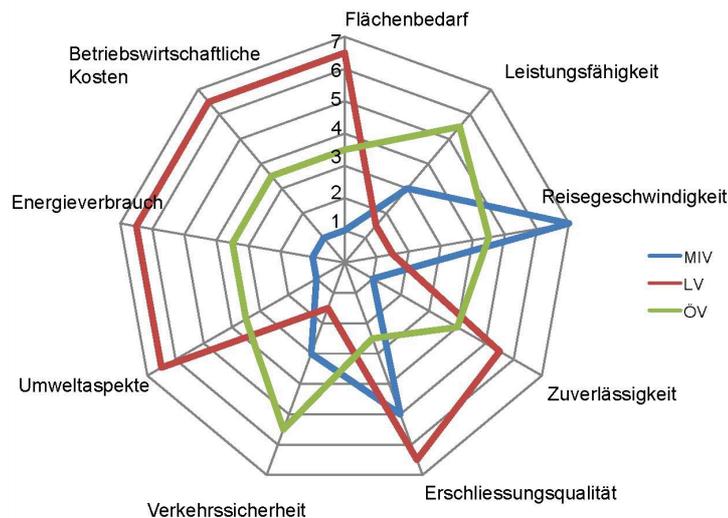


Abb. 4 Eignungsprofile der Verkehrsmittelkategorien

Ergebnisse

Einsatzkriterien

Aufgrund der vorliegenden Untersuchung lassen sich Mindestgrenzen für den Einsatz bestimmter Verkehrsmittel herleiten (Tabelle 1). Damit kann die Auswahl der zur Verfügung stehenden Verkehrsmittel schnell auf diejenigen eingengt werden, die sich sinnvoll einsetzen lassen und damit in einem vertieften Variantenstudium zu untersuchen sind. Dabei können weitere Einsatzcharakteristika helfen, welche die Eigenschaften der Verkehrsmittel detaillierter beschreiben. Es bleibt zu beachten, dass die genannten Werte als grobe Richtwerte zu verstehen sind und nicht als harte Grenzen.

Tabelle 1 Einsatzkriterien

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

¹ Gesamtagglomeration

² Annahme bei MIV 1.2 Personen pro Fahrzeug

³ Zentraler Knoten eines S-Bahn Systems wie z. B. Zürich HB oder Bern. Dazu zählen nicht Umsteigepunkte.

Fazit

Städtische Schienenverkehrssysteme sind nur in den grössten Agglome-

rationen sinnvoll da nur hier ein Kerngebiet vorliegt, das flächenmässig gross ist und auf eine hochleistungsfähige interne Erschliessung angewiesen ist. S-Bahn-Systeme eignen sich in einigen weiteren Fällen, wenn eine Agglomeration als Aktivitätszentrum einen Knoten bilden kann. Alle weiteren Systeme sind dagegen skalierbarer und somit flexibel in vielen verschiedenen Fällen einsetzbar. Diese Erkenntnisse bestätigen Erfahrungswerte.

Weiterer Forschungsbedarf

Aufgrund der vorliegenden Arbeit hat sich ein weiterer Forschungsbedarf in einer Reihe Gebieten gezeigt. Dies umfasst Überlegungen zu volkswirtschaftlichen Optima um Lösungen weiter zu überprüfen. Es zeigen sich ausserdem Potentiale in der im Hinblick auf Planung und Nutzungsverhalten der Verkehrsmittel. Dies gilt insbesondere für Zugangsdistanzen zu Haltestellen, die Wirkung von begleitenden Massnahmen wie der Parkplatzpolitik sowie die Funktionsweise und Nutzung von Fussgängerbereichen in Kleinagglomerationen. Im Hinblick auf die Betriebsqualität des ÖV sind weitere Untersuchungen zu Auswirkungen von Störungen nötig. Besonders sind im Rahmen des ÖV-Betriebs auch Sicherheitsfragen weiter zu erörtern. Dies umfasst neben Untersuchungen zu Unfallgeschehen auch eine Befassung mit Vandalismus im MIV und ÖV und dessen Auswirkungen.