



**Bahn 2050: Schienenverkehrskonzept  
mit Erschliessung durch selbstfahrende Autos**

Felix Lutz

IVT  
ETH  
Zürich

Januar 2018

Schweizerische Bundesbahnen (2017b)

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

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## SBB und ETH planen Mobilitätsoffensive

Download Mittwoch, 24. Januar 2018, 6:00 Uhr

Sendetermine

Audio

Der Verkehr in der Schweiz soll sicherer, umweltfreundlicher und günstiger werden. Vor allem der öffentliche. Das haben die ETH Zürich und die SBB am WEF in Davos angekündigt. Es geht um Sharing und Automatisierung.



Ziel des neuen Konzepts: Den öffentlichen Verkehr weiterentwickeln, mit selbstfahrenden Autos und besserer Vernetzung. KEYSTONE



Ziel des neuen Konzepts: Den öffentlichen Verkehr weiterentwickeln, mit selbstfahrenden Autos und besserer Vernetzung. KEYSTONE

SRF, 2018

## 100 Millionen für intelligentere Mobilität

Die ETH verstärkt ihre Forschung über Verkehrssysteme und wird dabei von den SBB unterstützt

Die SBB verfügen über riesige Datenmengen, können diese aber für die Planung von Ausbauten nicht nutzen, weil sie keine Instrumente dazu haben. Eine Forschungsinitiative soll Abhilfe schaffen.

For. Davos: Draussen tuckert eine lange Blechkolonne durch das nächtliche Davos. Wer statt auf die Limousine auf die eigenen Füße setzt, kommt viel schneller vorwärts. Drinnen in ihrem Pavillon informiert die ETH über ihre «Mobilitäts-Initiative», die sie zusammen mit den SBB lanciert. Die Hochschule will Forschung und Lehre zu den Verkehrsnetzen ausbauen. Dazu sollen in den nächsten 10 Jahren 100 Millionen investiert werden. Eine Initiative von der ETH, die andere von der SBB, sind zwei bis vier neue Professuren und bis zu 100 zusätzliche Absolventen von (Post-)Doktoraten. Bereits heute forschen rund 20 Gruppen an der ETH zur Mobilität.

Ein konkreter Bedarf besteht bei der Verkehrsmodellierung, wie SBB-Chef



Lino Guzzella  
Präsident  
der ETH Zürich

Andreas Meyer am Anlass erklärte: «Wir haben riesige Datenmengen, aber

wir holen aus diesen zu wenig raus.» Solche Modellierungen würden die Planung des Herzstückes Basel, das den 15-Minuten-Takt der S-Bahn vorsieht, vereinfachen. Teilweise wird die S-Bahn künftig unterirdisch geführt. Dies werde die übrigen Verkehrsströme wie etwa die Trams beeinflussen, aber man wisse nicht, wie, sagte Meyer. Den SBB fehlen heute die Instrumente, um die idealen Umsteigeorte zu eruieren.

Potenzial

Die Schweiz viel mehr auf den Ort und in die gebaut würde. nisse aus der stromatischen Forschung in den nächsten grossen Ausbauschritt der Bahn bis 2030 einfließen. Spätestens dann müssten die Verkehrssysteme von der Digitalisierung profitieren können, sagte Verkehrsministerin Doris Leuthard. Potenzial sieht sie dabei auch bei der Schiene, beispielsweise bei einer besseren Zusammenarbeit über die Grenzen hinweg. Die Infrastrukturausbauten auf der Nord-Süd-Achse bringen im Güterverkehr zwar einen Zeitgewinn von rund einer Stunde. Gleichzeitig würden die Züge auf der Strecke vier bis fünf Stunden verlieren, weil zu wenig koordiniert würde, sagte Meyer.

### Ein eigenes Zentrum

Die ETH betreibt bereits seit längerem Forschung zur Mobilität. Jetzt werden die Ziele ambitionierter. Mit der Initiative soll die ETH als führendes Zentrum in

der Mobilitätsforschung in der Schweiz und weltweit etabliert werden, sagte ETH-Präsident Lino Guzzella. Der öffentliche Verkehr werde immer wichtiger und sei auch eine Chance für neue Arbeitsplätze.

Um die Sichtbarkeit zu erhöhen, schafft die ETH ein Mobilitätszentrum, wo Wissenschaftler der Hochschule zusammen mit Förderpartnern gemeinsam forschen. Die Pläne umfassen die

Die Trams beeinflussen, aber man wisse nicht, wie, sagte Meyer. Den SBB fehlen heute die Instrumente, um die idealen Umsteigeorte zu eruieren.

### Leuthard drückt aufs Tempo

Bundesrätin Leuthard erhofft sich von der Forschungsinitiative viele und schnelle Antworten, möglichst in den nächsten fünf Jahren schon. Für Meyer ist die Initiative eine Notwendigkeit. Wenn es die Schweiz nicht mehr schaffe, ihre Kräfte zu bündeln, dann werde sie in den kommenden 10 bis 15 Jahren keine Pionierrolle einnehmen.

ETH und SBB, die schon seit längerem zusammenarbeiten, bilden den Kern der Partnerschaft. Doch Meyer gab zu verstehen, dass weitere Partner sehr willkommen seien.

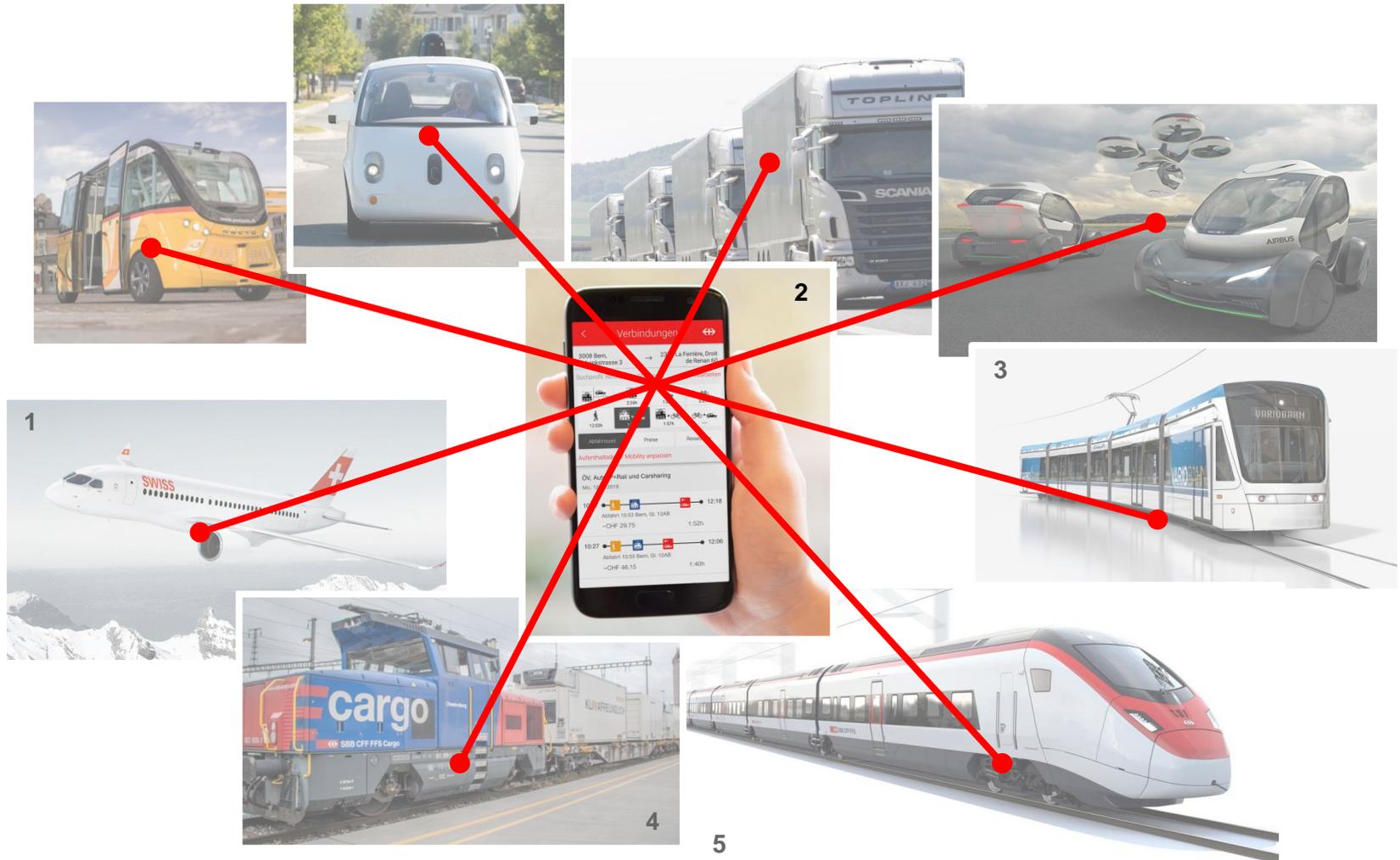
NZZ, 2018

# Mobilitätsmarkt wandelt sich und neue Angebote entstehen.



<sup>1</sup> Postauto Schweiz AG (2015) <sup>2</sup> Waymo (2017) <sup>3</sup> Scania (2012) <sup>4</sup> Italdesign (2017) <sup>5</sup> Mercedes Benz (2013)

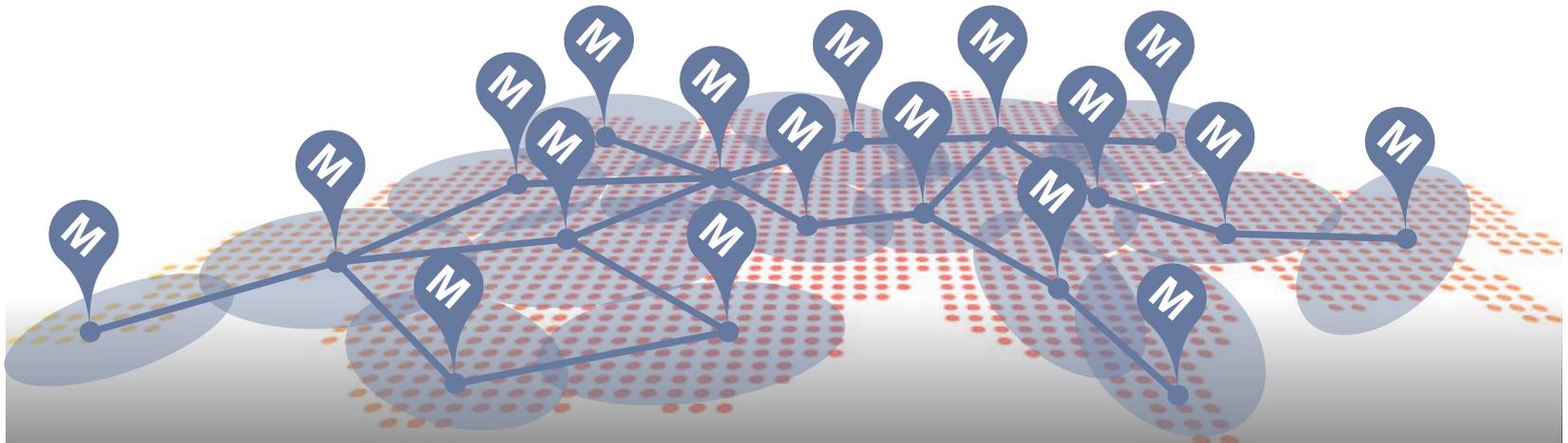
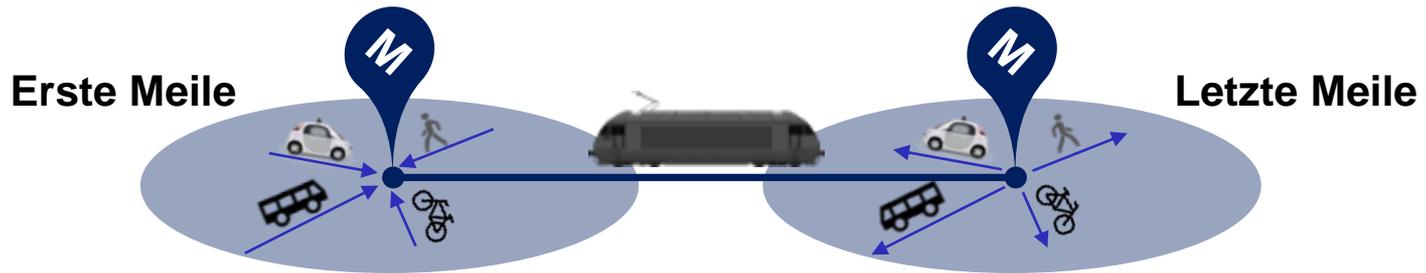
# Reiseplaner vernetzten Angebote und schaffen Transparenz.



<sup>1</sup> Swiss International Air Lines (2017) <sup>2</sup> Schweizerische Bundesbahnen (2017a) <sup>3</sup> Stadler rail (2017b) <sup>4</sup> SBB Cargo (2017) <sup>5</sup> Stadler rail (2017a)

Bahn muss sich auf Stärken fokussieren und über Hubs vernetzen.

---



Eigene Darstellung

# Methodik zur Standortwahl der Mobilitätshubs fehlt.

## Fragestellungen

1. In welchen Gebieten ist die Nutzung der Bahn weiterhin erforderlich?
2. Wie erfolgt die Vernetzung der Bahn mit anderen Verkehrssystemen?
  - Betriebskonzept und Dimensionierung
  - Anzahl an Mobilitätshubs
3. Wie sieht ein Schienenverkehrskonzept zwischen Mobilitätshubs aus?

## Forschungsfrage

Für den Horizont 2050 soll eine strategische Perspektive in der Form eines Schienenverkehrskonzepts für den Grossraum Zürich–Ostschweiz entwickelt werden. Die Erschliessung erfolgt mit selbstfahrenden Autos über Mobilitätshubs.



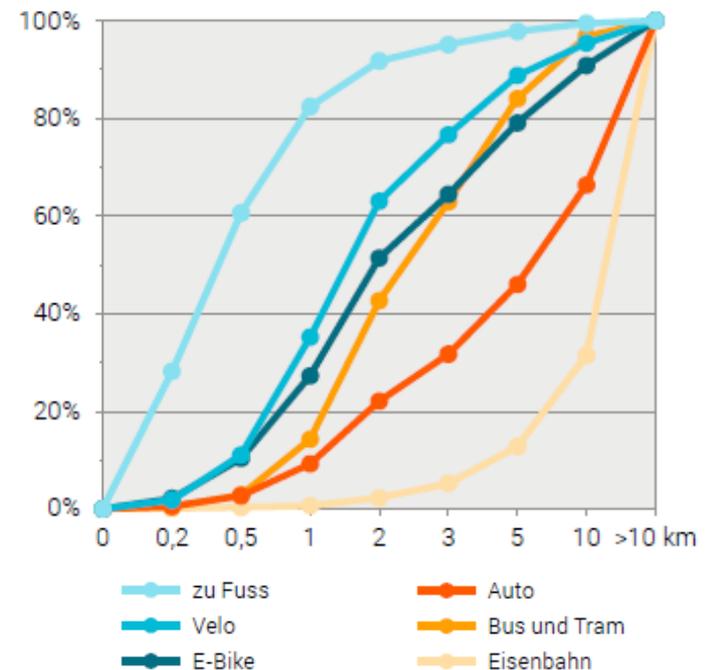
Schweizerische Bundesbahnen (2017c)

## Bahnangebot fokussiert sich auf Zentren und Hauptachsen.

Der Einsatz der Bahn ist anzustreben,

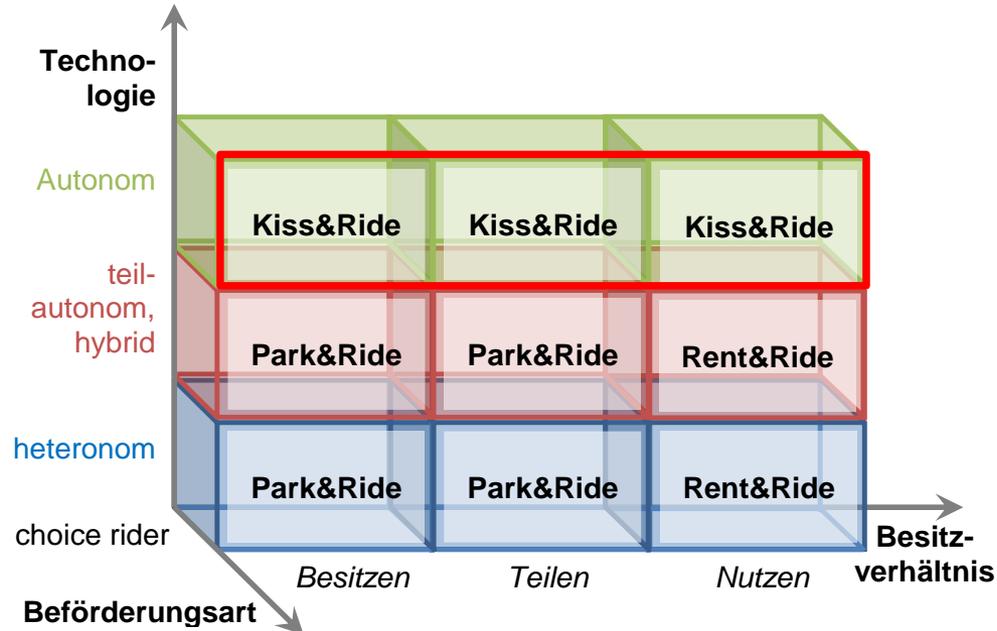
- wenn **grosse Mengen** an Reisenden gleichzeitig befördert werden müssen (u.a. Städte und Agglomerationen),
- wenn eine **Etappe** über eine Länge von **mehr als 10 Kilometer** verfügt,
- wenn eine **Zeitersparnis** gegenüber der Strasse vorliegt,
- wenn die **Nachfrage gebündelt** werden kann.

Summenhäufigkeit der Etappenlängen



Zusätzlich sind die Ausgestaltungsattribute der Verkehrssysteme zu berücksichtigen (topologische, strukturelle, modale und föderalistische Attribute).

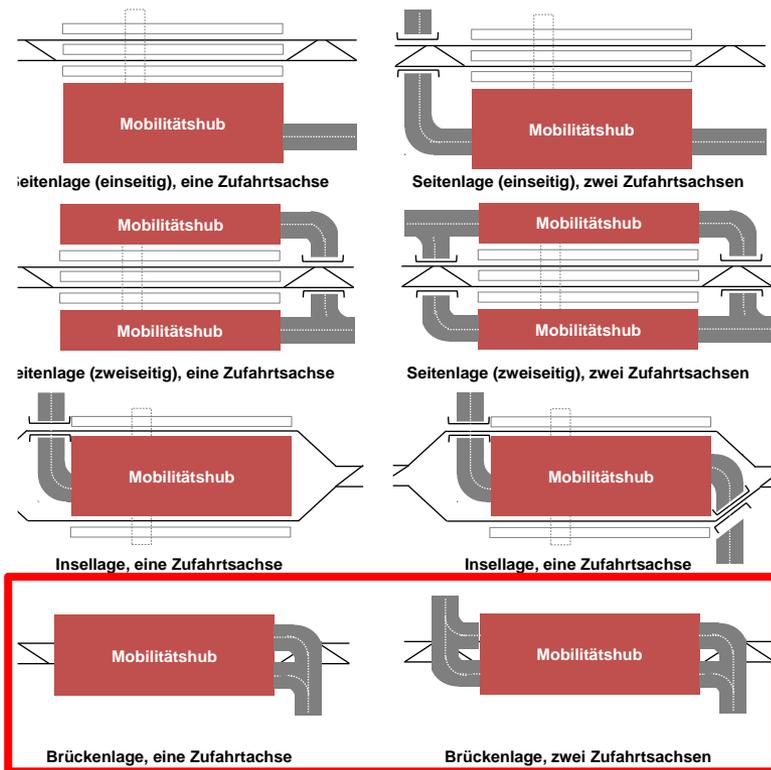
# Selbstfahrende Autos sind Voraussetzung für Netzfokussierung.



	Strasse mit einem Fahrstreifen pro Richtung	Strasse mit zwei Fahrstreifen pro Richtung
<b>Kapazität [Fz/h] (je Fahrstreifen)</b>	1800	3600
<b>Belegungsgrad [Pers/Fz]</b>	1.6	1.6
<b>Zubringerleistung [Pers/h] [Zubringerkapazität*Belegungsgrad]</b>	2880	5760

Eigene Darstellung

Umsteigen muss einfach, bequem und schnell möglich sein.



### Funktionale Anforderungen:

- Automatisierter Betrieb möglich,
- Reduktion von Störungen durch konsequente Trennung der Aufenthalts- und Zirkulationsbereiche zwischen den Verkehrssystemen
- Trennung des ankommenden und abgehenden Verkehrs,
- Bewältigung von hohem Passagieraufkommen,
- Geringe Distanzen mit ausreichend Alternativrouten.

# Erforderliche Zubringerleistung ist Grundlage für Dimensionierung.

---

Angelehnt an die Berechnung der Bemessungsnachfrage (Weidmann, 2011) wird für die Bestimmung der Kapazitätsgrenze von Hubs folgende Formel verwendet:

$$DWV = \frac{SZL}{0.5 \cdot f_{\text{Stunde}} \cdot (1 + f_{\text{Streuung}} \cdot f_{\text{Spitze}})}$$

Wobei:

- DWV = durchschnittlicher Wochentagsverkehr (P)
- SZL = stündliche Zubringerleistung
- $f_{\text{Stunde}}$  = Faktor der betreffenden Tagesstunde (-)
- $f_{\text{Streuung}}$  = Standardabweichung bezogen auf Mittelwert (-)
- $f_{\text{Spitze}}$  = Spitzenfaktor/Faktor der Standardabweichung (-)

Als Werte werden angenommen (Weidmann, 2011):

- $f_{\text{HVZ-Stunde}}$  = 0.22 (S-Bahn/Regionalbahn, Fahrt zum Zentrum)
- $f_{\text{NVZ-Stunde}}$  = 0.06 (S-Bahn/Regionalbahn, Fahrt aus Zentrum)
- $f_{\text{Streuung}}$  = 0.25
- $f_{\text{Spitze}}$  = 1.5

**Ein Mobilitätshub kann ausschliesslich mit autonomen Autos bedient werden, wenn er einen DWV von maximal 19'000 resp. 38'000 Personen erreicht.**

# Erforderliche Zubringerleistung ist Grundlage für Dimensionierung.

---

Mit einem gegebenen DWV kann die Formel wie folgt umgestellt werden:

$$SZL = f_{\text{Pendler}} \cdot (0.5 \cdot DWV \cdot f_{\text{Stunde}} \cdot (1 + f_{\text{Streuung}} \cdot f_{\text{Spitze}})) + (1 - f_{\text{Pendler}}) \cdot (DWV \cdot f_{\text{Stunde}} \cdot (1 + f_{\text{Streuung}} \cdot f_{\text{Spitze}}))$$

Wobei:

$f_{\text{Pendler}}$  = 80 Prozent (Pendleranteil aus Verkehrsmodell des Kantons Bern)

Um die erforderliche Zubringerleistung pro Stunde für das in der Fallstudie untersuchte Jahr 2050 zu erhalten, werden die Werte des durchschnittlichen Werktagverkehrs vom Jahr 2014 mit einem Wachstumsfaktor multipliziert.

# Betriebsstellen können in Fallgebiet stark reduziert werden.

Tabelle 1 Herleitung des durchschnittlichen Werktagverkehrs 2050

Betriebspunkt	DWV (2014) Tageswert [Pers]	Pendler-Anteil in HVZ [%]	DWV (2014) in HVZ-Stunde [Pers]	DWV (2014) in NVZ-Stunde [Pers]
Zürich HB	441'400	80	80'114	21'849
Winterthur	105'200	80	19'094	5'207
Zürich Oerlikon	84'500	80	15'337	4'183
Zürich Stadelhofen	81'100	80	14'720	4'014
Zürich Hardbrücke	56'600	80	10'273	2'802
St. Gallen	52'900	80	9'601	2'619
Zürich Flughafen	25'157	80	4'566	1'245
Zürich Altstetten	39'900	80	7'242	1'975
Wetzikon	28'300	80	5'136	1'401
Chur	24'100	80	4'374	1'193
Uster	27'600	80	5'009	1'366
Rapperswil	23'600	80	4'283	1'168
Stettbach	24'000	80	4'356	1'188
Will	22'400	80	4'066	1'109
Dietikon	22'700	80	4'120	1'124
Thalwil	19'800	80	3'594	980
Bülach	20'000	80	3'630	990
Schaffhausen	19'200	80	3'485	950
Effretikon	19'300	80	3'503	955
Wädenswil	18'700	80	3'394	926
Weinfelden	17'700	80	3'213	876
Pfäffikon SZ	16'100	80	2'922	797
Zürich Enge	16'500	80	2'995	817
Frauenfeld	14'400	80	2'614	713
Landquart	12'300	80	2'232	609
Wallisellen	14'500	80	2'632	718

- **26** von 267 **Betriebsstellen** im Raum Zürich-Ostschweiz erreichen die erforderliche Frequenz eines Mobilitätshubs.
- Weitere **26 Standorte** können aufgrund der geographischen Lage und dank DWV-Verlagerung von wegfallenden Bahnhöfen die Nutzungsgrenze erreichen.
- Restliche rund **200 Betriebspunkte** fallen wegen zu geringer Nachfrage oder fehlenden Verlagerungseffekten von wegfallenden Betriebspunkten aus Bediennetz heraus.

## Einzelfälle erfordern gebündelte Zubringerleistungen (Tram/Bus).

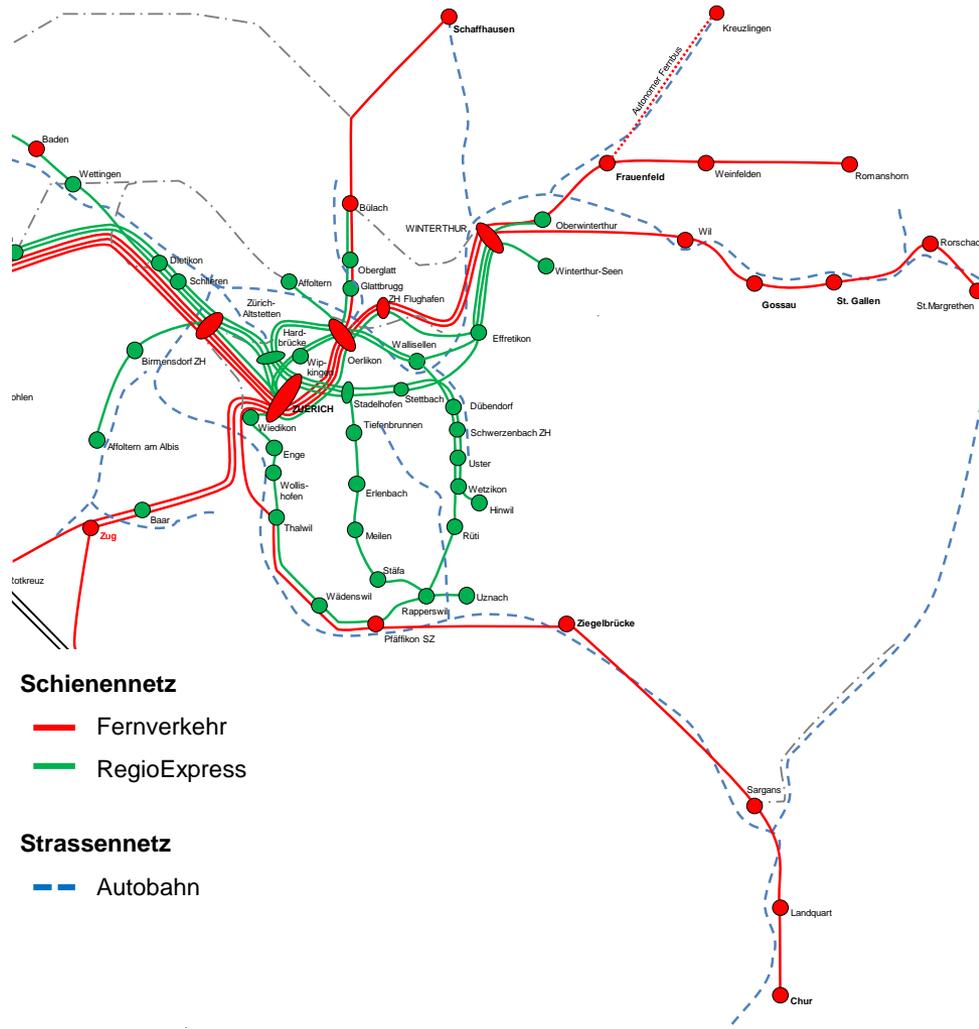
Zubringerleistung: Herleitung des Soll-Anteils Kollektivreisenden

Betriebspunkt	DWV (2050) in HVZ-Stunde (2014 +25%) [Pers]	autonome Busse/Tram (ÖV) Soll-Modalsplit [%]
Zürich HB	100'143	75
Winterthur	23'867	70
Zürich Oerlikon	19'171	60
Zürich Stadelhofen	18'400	50
Zürich Hardbrücke	12'841	40
St. Gallen	12'002	40
Zürich Flughafen	5'707	20
Zürich Altstetten	9'052	20
Uster	6'262	20
Rapperswil	5'354	20
Will	5'082	20
Thalwil	3'594	20
Zürich Wipkingen	862	60

Eigene Darstellung

- Bei zwölf Betriebspunkten übersteigt die Verkehrsnachfrage die Kapazität der Zubringerachsen.
- In diesen Fällen ist eine gebündelte Zubringerleistung erforderlich.
- Im Fall von Zürich Wipkingen wird aufgrund der Lage im Stadtzentrum ein alternatives Mobilitätshubkonzept mit einem höheren Anteil an LV und autonomen Bussen resp. Trams vorgesehen.

# Bahnangebot ist systematisiert, standardisiert und automatisiert.



#### Schienennetz

- Fernverkehr
- RegioExpress

#### Strassennetz

- - - Autobahn

Eigene Darstellung

- **Systematisches Angebot im Personenverkehr: 10-Min-Takt**
- **Standardisiertes Rollmaterial** (100 Meter, Doppeltraktion,  $v_{max}$  160 km/h) erlaubt **standardisierte Infrastruktur**
- **Autonomer Betrieb** mit Zugfolgezeit von 2 Minuten

## Konzeption von künftigem Bahnangebot benötigt neue Impulse.

---

1. Für die langfristige Sicherstellung eines attraktiven ÖV-Angebotes benötigt es
  - das **konsequente Hinterfragen** der heutigen Einsatzgebiete der Eisenbahn
  - **radikale Szenarien** bei der Erstellung von strategischen Verkehrsperspektiven
  - die **Berücksichtigung des Potentials neuer Technologien** in der Angebotsentwicklung
  - **Tabubrüche**, welche den Rückbau von Bahninfrastruktur betreffen.
2. In Zukunft ist es notwendig, die **Mobilität als Gesamtzusammenhang** von
  - Fahrzeugen,
  - technischer Infrastruktur,
  - organisatorischen Konzepten,
  - intermodalen Verkehrsansätzen und Betreibermodellenzu konzipieren.
3. Umsteigeknoten, sogenannte **Mobilitätshubs**, werden eine **entscheidende Rolle** in der Vernetzung der Verkehrssysteme und -modi einnehmen.

# Diplomarbeit stellt ein Szenario der Angebotsentwicklung dar.

---

## **Würdigung**

Bei der Diplomarbeit gilt es folgende Rahmenbedingung zu beachten:

- Folgerungen sind als ein Szenario zu sehen, nicht als absolute Empfehlung, da:
  - die Studie eine Abschlussarbeit mit limitiertem Zeitbudget darstellt.
  - sie einen klar definierten Aufgabenumfang, mit einigen Abgrenzungen hat.
  - und einige Vereinfachungen getroffen werden mussten.

## **Weitere Schritte**

- Entwicklung weiterer Ausgestaltungsvarianten, -szenarien
- Überprüfung der Wirkung (insb. Nachfrageveränderung) in Verkehrssimulationssoftware
- Vertiefte Analyse der finanziellen Konsequenzen
- Überprüfung und allfällige Neudefinition der gewählten Parameter/Grenzwerte im Zeitalter autonomer Fahrzeuge

# BACK UP: Literaturverzeichnis

---

# Literatur (1/3)

---

Italdesign (2017) Project Popup, Italdesign Giugiaro S.p.A, Torino,  
<http://www.italdesign.it/project/popup/>, Dezember 2017

Mercedes Benz (2013) Das Jahrhundert der Städte, Daimler AG, Stuttgart,  
<https://www.mercedes-benz.com>, Dezember 2017

Neue Zürcher Zeitung (2018) 100 Millionen für intelligentere Mobilität, Tagespresse,  
NZZ AG, Zürich, <https://www.nzz.ch>, Januar 2018

Perret C., A. Danalet und M. Kowald (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung,  
Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015, Bundesamt für  
Statistik, Neuchâtel.

Postauto Schweiz AG (2015) Autonome Shuttles fahren zum ersten Mal,  
Medienmitteilung vom 17.12.2015, Postauto Schweiz AG, Bern,  
<https://www.postauto.ch>, Dezember 2017

SBB Cargo (2017) Automatische Bremsprobe bringt Zeitersparnis im  
Rangierbetrieb, SBB Cargo AG, Olten, <https://sbb-medien.ch/>, Dezember 2017

Scania (2012) Scania lines up for platooning trials, Scania, Södertälje,  
<https://www.scania.com/group/>, Dezember 2017

## Literatur (2/3)

---

Schweizer Radio und Fernsehen (2018) SBB und ETH planen Mobilitätsoffensive, Medienartikel, SRF, Zürich, <https://www.srf.ch/>, Januar 2018

Schweizerische Bundesbahnen (2017a) Kombinierte Mobilität ist die Zukunft, SBB, Bern, <https://sbb-medien.ch/>, Dezember 2017

Schweizerische Bundesbahnen (2017b) Mobilität der Zukunft, SBB AG, Bern, <https://mediacenter-intranet.sbb.ch>, Dezember 2017

Schweizerische Bundesbahnen (2017c) Mobilitätshub, SBB AG, Bern, <https://mediacenter-intranet.sbb.ch>, Dezember 2017

Stadlerrail (2017a) SMILE, Stadlerrail AG, Bussnang, <http://www.stadlerrail.com/en/products/>, Dezember 2017

Stadlerrail (2017b) Variobahn, Stadlerrail AG, Bussnang, <http://www.stadlerrail.com/en/products/>, Dezember 2017

Swiss International Air Lines (2017) Unsere Flotte - C-Series, Swiss International Air Lines, Kloten, <https://www.swiss.com/>, Dezember 2017

## Literatur (3/3)

---

Schweizerische Bundesbahnen (2017a) Kombinierte Mobilität ist die Zukunft, SBB, Bern, <https://sbb-medien.ch/>, Dezember 2017

Schweizerische Bundesbahnen (2017b) Mobilität der Zukunft, SBB AG, Bern, <https://mediacenter-intranet.sbb.ch>, Dezember 2017

Schweizerische Bundesbahnen (2017c) Mobilitätshub, SBB AG, Bern, <https://mediacenter-intranet.sbb.ch>, Dezember 2017

Stadlerrail (2017a) SMILE, Stadlerrail AG, Bussnang, <http://www.stadlerrail.com/en/products/>, Dezember 2017

Stadlerrail (2017b) Variobahn, Stadlerrail AG, Bussnang, <http://www.stadlerrail.com/en/products/>, Dezember 2017

Swiss International Air Lines (2017) Unsere Flotte - C-Series, Swiss International Air Lines, Kloten, <https://www.swiss.com/>, Dezember 2017

Waymo (2017) Self-driving cars, Waymo, Phoenix, <https://www.waymo.com/>, Dezember 2017

Weidmann, U. (2011) Systemdimensionierung und Kapazität, Ressourcendimensionierung und –einsatz, Vorlesungsskript, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich..