

Automatisierte Erstellung von fahrplanreferenzierten ÖV-Netzen

Patrick Brosi, Uli Müller

ge^ops

Anwendungen auf Basis von Open Source (GIS)

Software mit Schwerpunkt im öV- und
Infrastruktur-Bereich

Fachapplikationen

Mobile Applikationen

Geoportale

Geospatial CMS

Hosting und Betrieb von Webanwendungen und
Geodateninfrastrukturen

Niederlassungen in Deutschland und der Schweiz



Störungsmonitor SBB

Gleis	Hinweis
1 AB	
24	
12 AB	
23	
8	
24	
12 A	
2	
22	
1 AB	
4	
6	
3	
einrägt. Grund: ausfällen zu rechnen.	



A Einschränkungen im Bahnverkehr.

Einschränkung: Bern - Lausanne
Der Bahnhof Fribourg / Freiburg ist für den Bahnverkehr unterbrochen.

Grund:
Fahrleitungsstörung

Dauer:
bis Betriebsschluss

i Informationen.

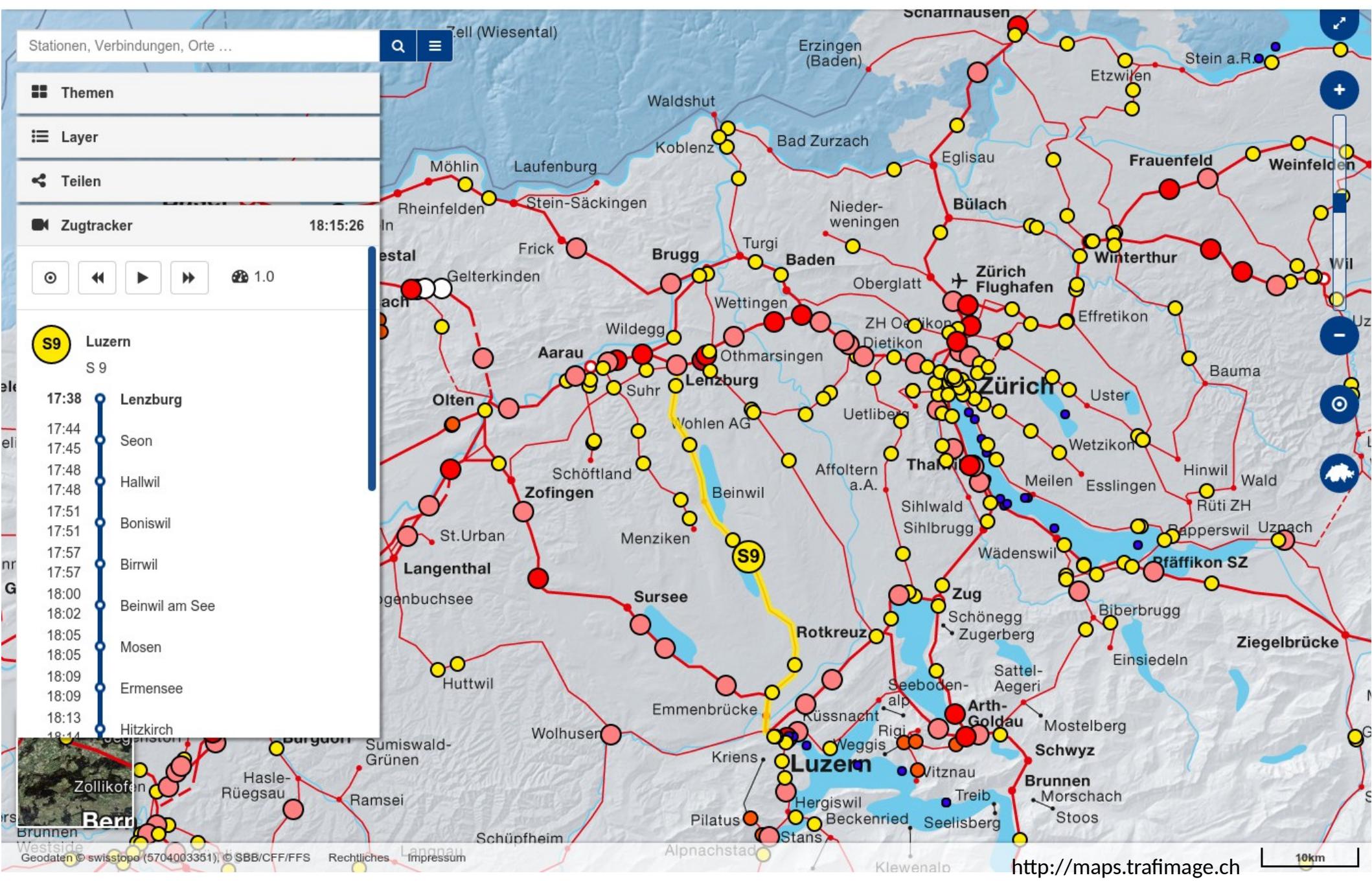
- Es ist mit Verspätungen, Zugausfällen und Umleitungen zu rechnen.



Mc Clean

RBS





Fahrtgeometrien



Häufige Anforderung: **exakte Liniенverlaufsgeometrien** für Fahrzeuge des öV

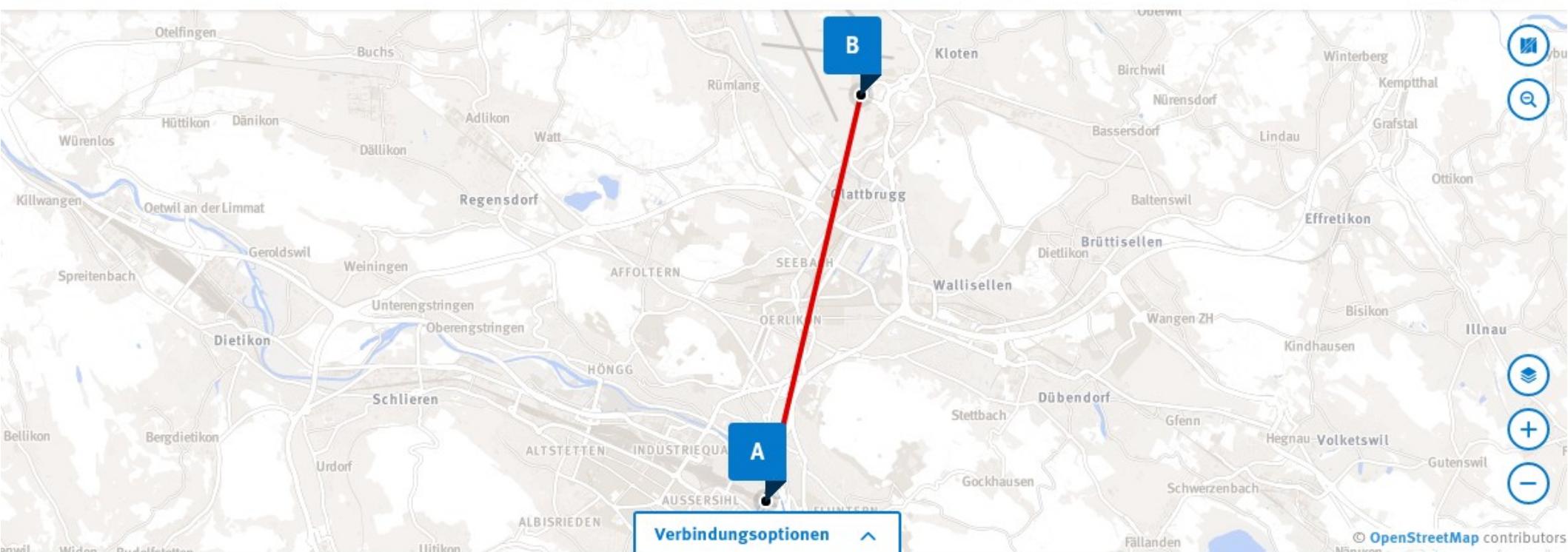
- Eindeutige Zuordnung von Fahrten zu Geometrien
- Nachvollziehbarer Linienverlauf anstatt Luftlinie

Fahrtgeometrien



Häufige Anforderung: **exakte Linienverlaufsgeometrien** für Fahrzeuge des öV

- Eindeutige Zuordnung von Fahrten zu Geometrien
- Nachvollziehbarer Linienverlauf anstatt Luftlinie



Verbindungsoptionen ▾

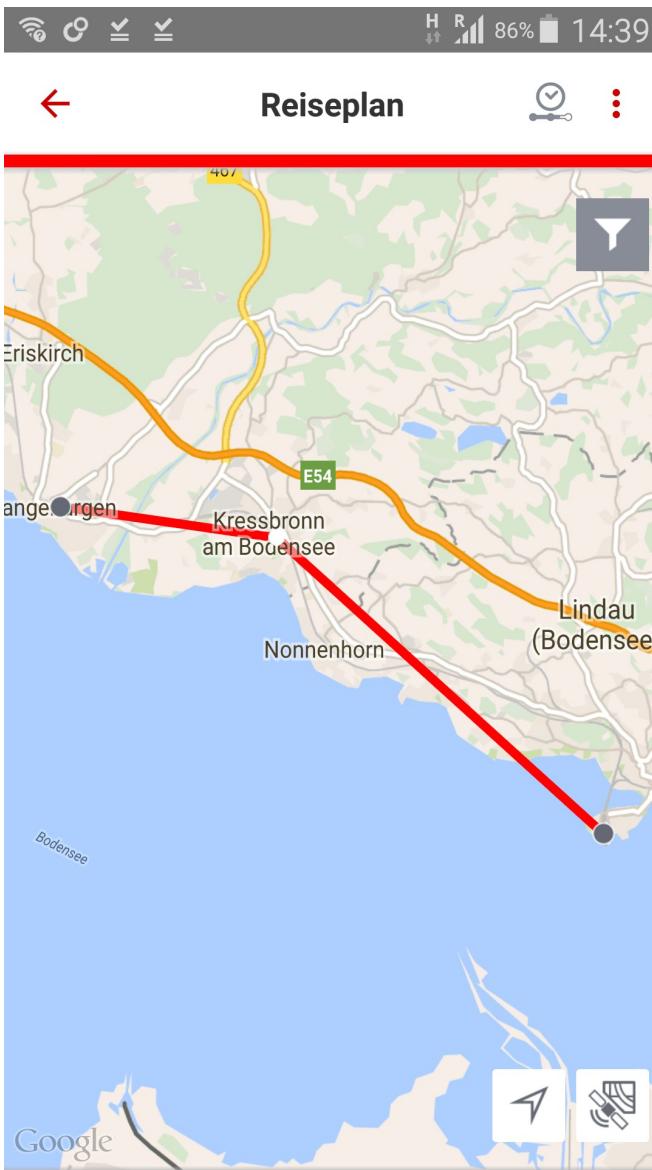
Von	Nach	Zeit	Datum		
Zürich HB A	=> Zürich Flughafen B	18:09	Ab	07.07.15	Verbindungen suchen

Ergebnisse

Erste Früher

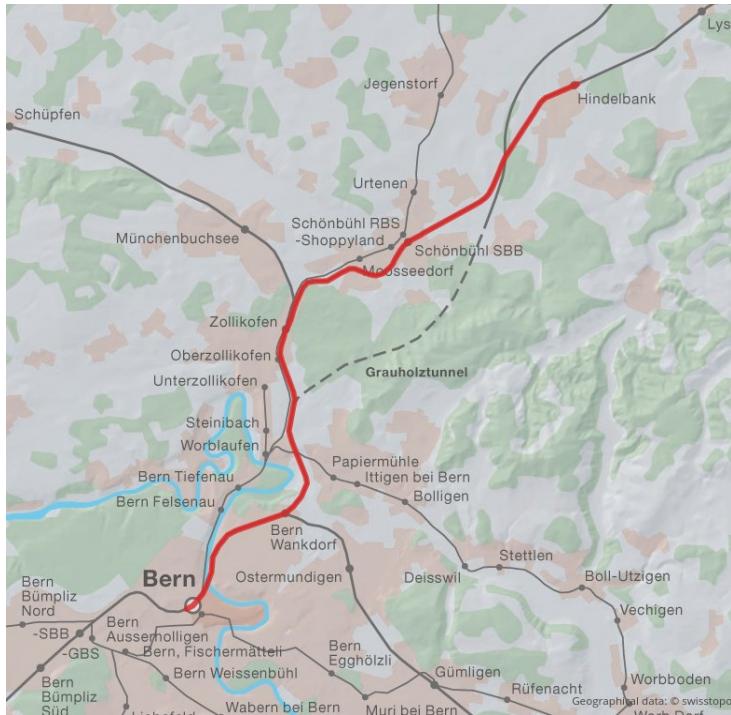
18:07 - 18:16	9 Minuten	0 Umstiege	IC	Details anzeigen
18:09 - 18:20	11 Minuten	0 Umstiege	ICN	Details anzeigen
18:14 - 18:24	10 Minuten	0 Umstiege	S2	Details anzeigen

Fahrtgeometrien



- Fahrplan enthält häufig nur Stationen und Abfahrtszeiten
- Meist sind nur Stationen georeferenziert

Anwendungsfälle



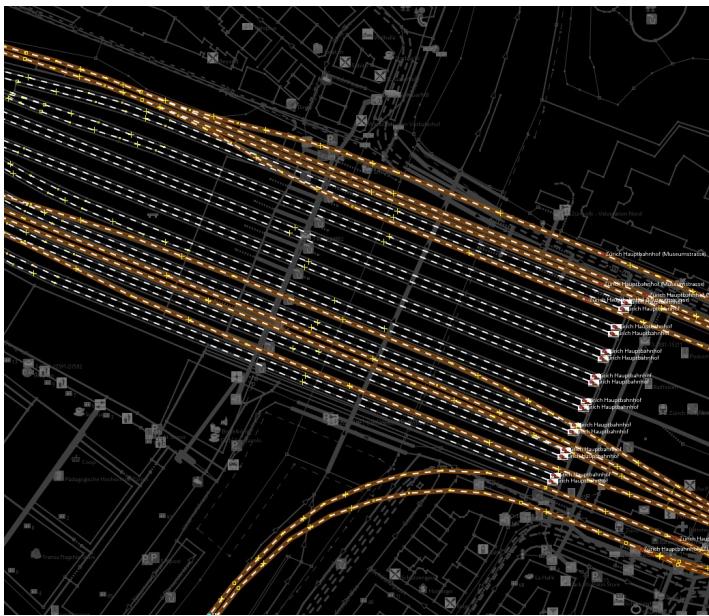
- Darstellung korrekter Linienverläufe in Informationssystemen
- Echtzeit-Darstellung von Fahrtbewegungen mittels räumlicher und zeitlicher Interpolation
- Grundlage für statische Netzanalysen (z.B. Heatmap von Lärmbelästigung o.ä.)

Geo-Datenquellen



- Hauseigenes GIS der Verkehrsunternehmen
- Offene Daten (z.B. **OpenStreetMap**)

Geo-Datenquellen

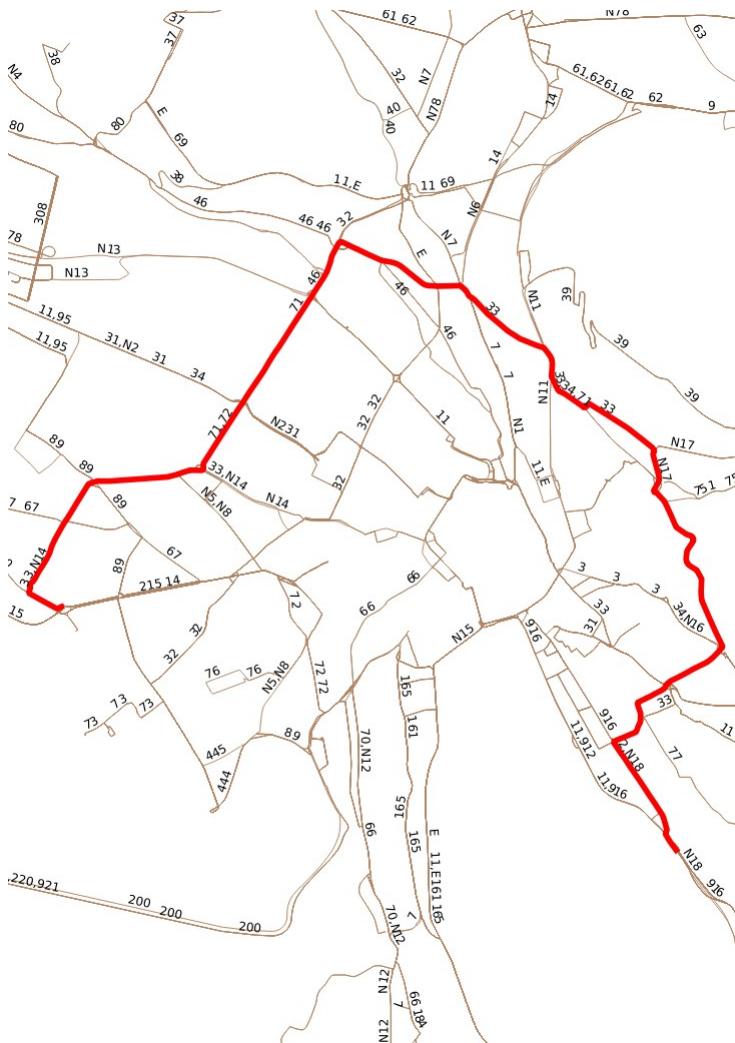


- Hauseigenes GIS der Verkehrsunternehmen
- Offene Daten (z.B. **OpenStreetMap**)

Aber:

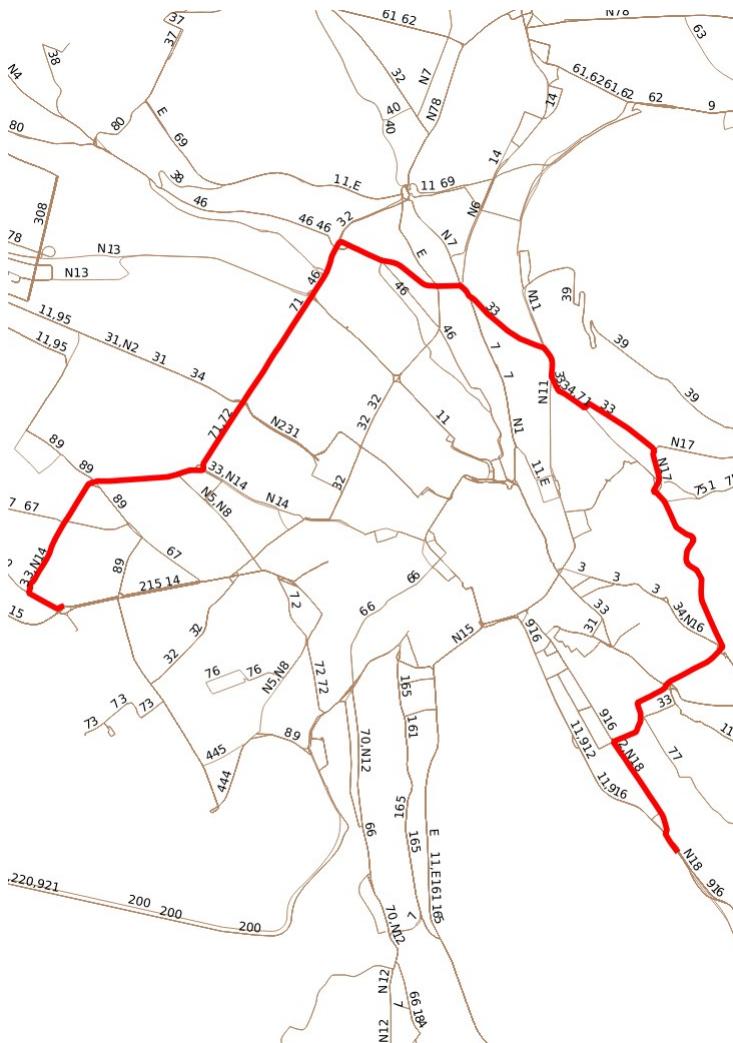
- reine Netzgeometrien (z.B. Gleisgeometrien oder Straßennetz)
- Keine Fahrplanreferenzierung
- Eventuelle Referenzierung ist nicht fahrplanexakt (händisch nachgeführt, ohne Ausreißerfahrten etc., z.B. public transit Relationen in OSM)

Fahrplanreferenzierte Netze



- „netzreferenzierte Fahrten“
- Jeder Fahrt im Fahrplan kann eine Geometrie im Netz zugeordnet werden
- Jeder Kantenverbindung im Netz können **alle** Fahrten zugeordnet werden, die darauf verkehren

Fahrplanreferenzierte Netze

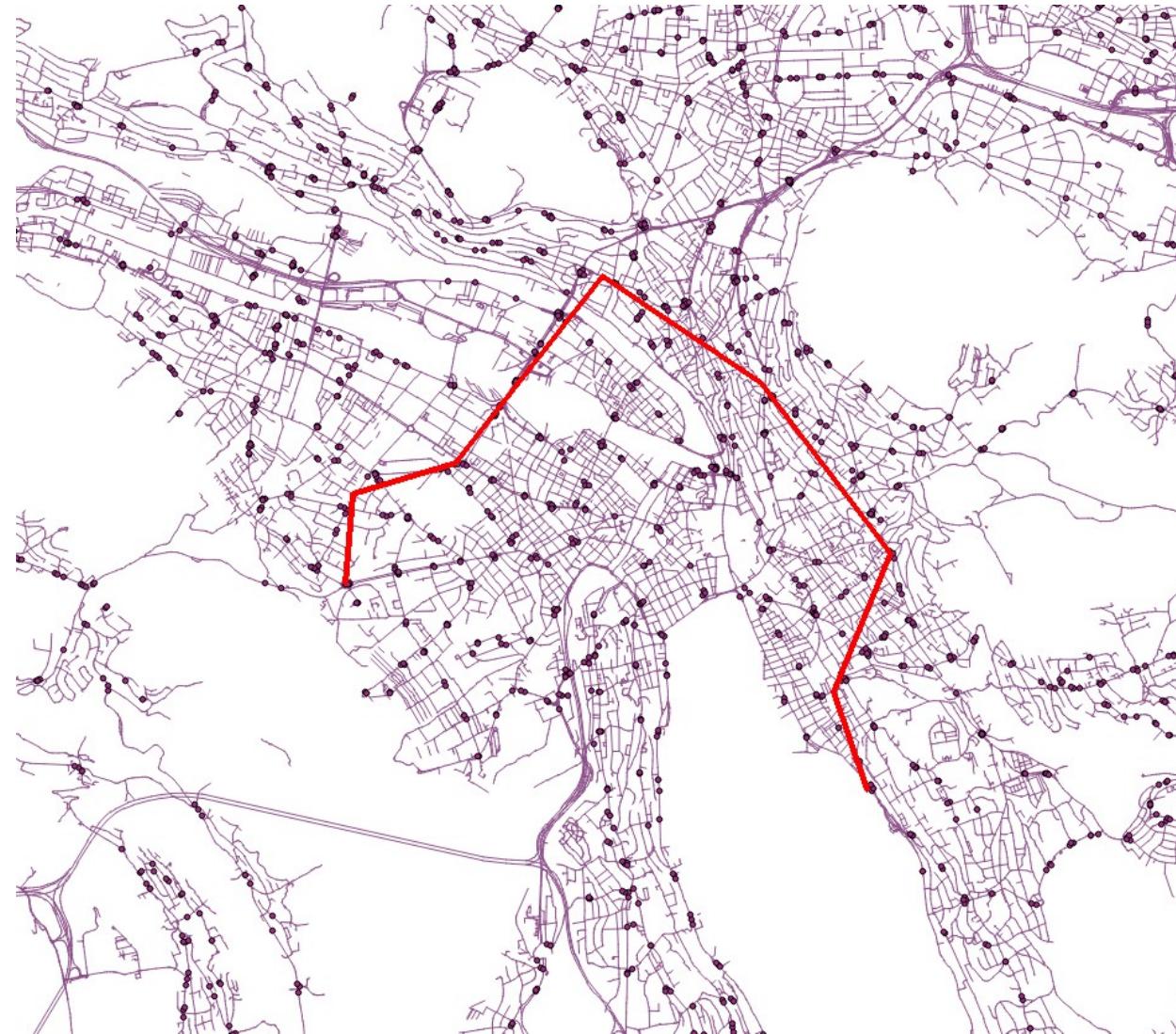


- „netzreferenzierte Fahrten“
- Jeder Fahrt im Fahrplan kann eine Geometrie im Netz zugeordnet werden
- Jeder Kantenverbindung im Netz können **alle** Fahrten zugeordnet werden, die darauf verkehren

Unser Ansatz: referenzierte Netze durch iterative
Shortest-Path-Berechnung

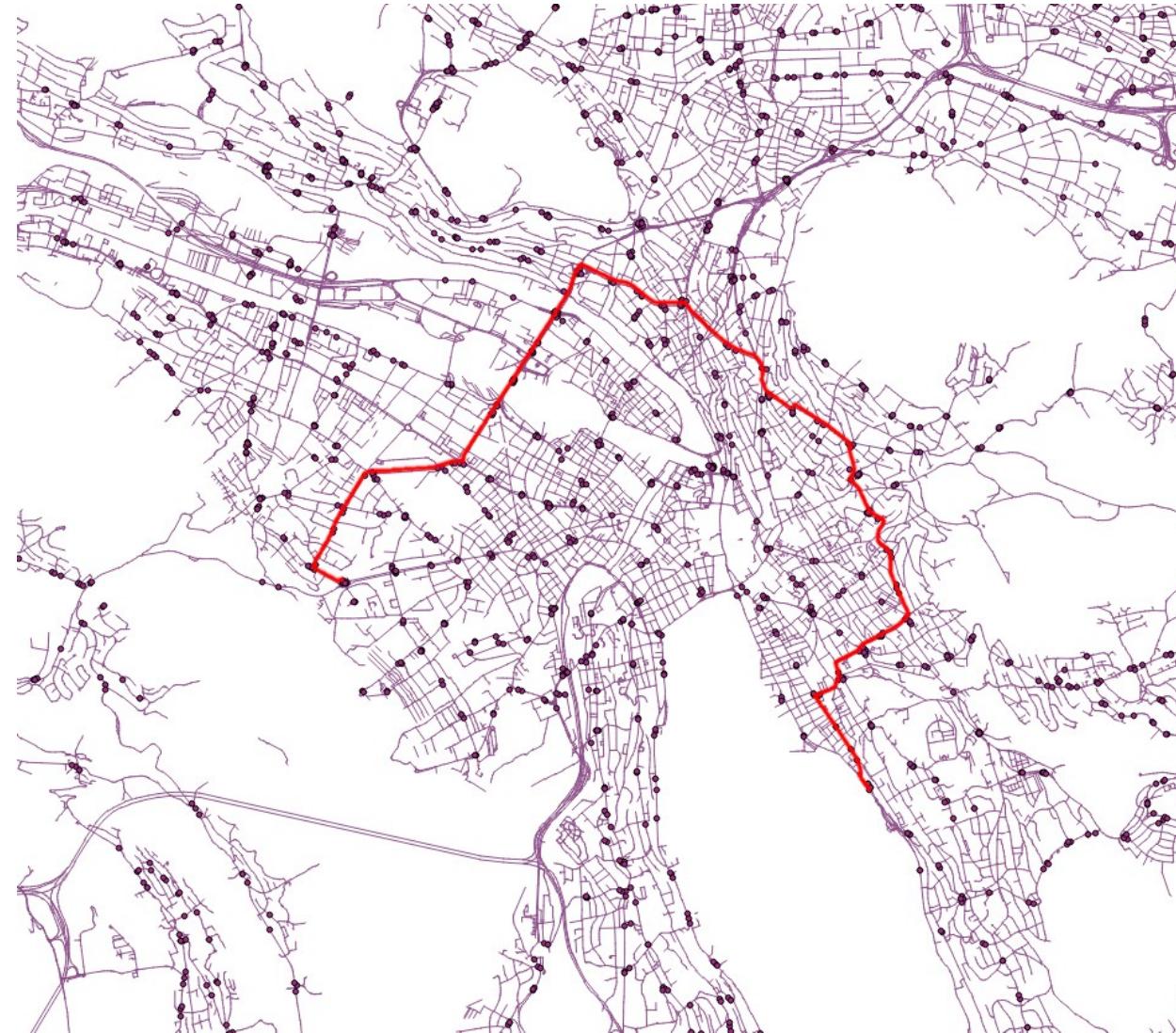
Fahrplanreferenzierte Netze

→ Map Matching mit sehr wenigen Kontrollpunkten



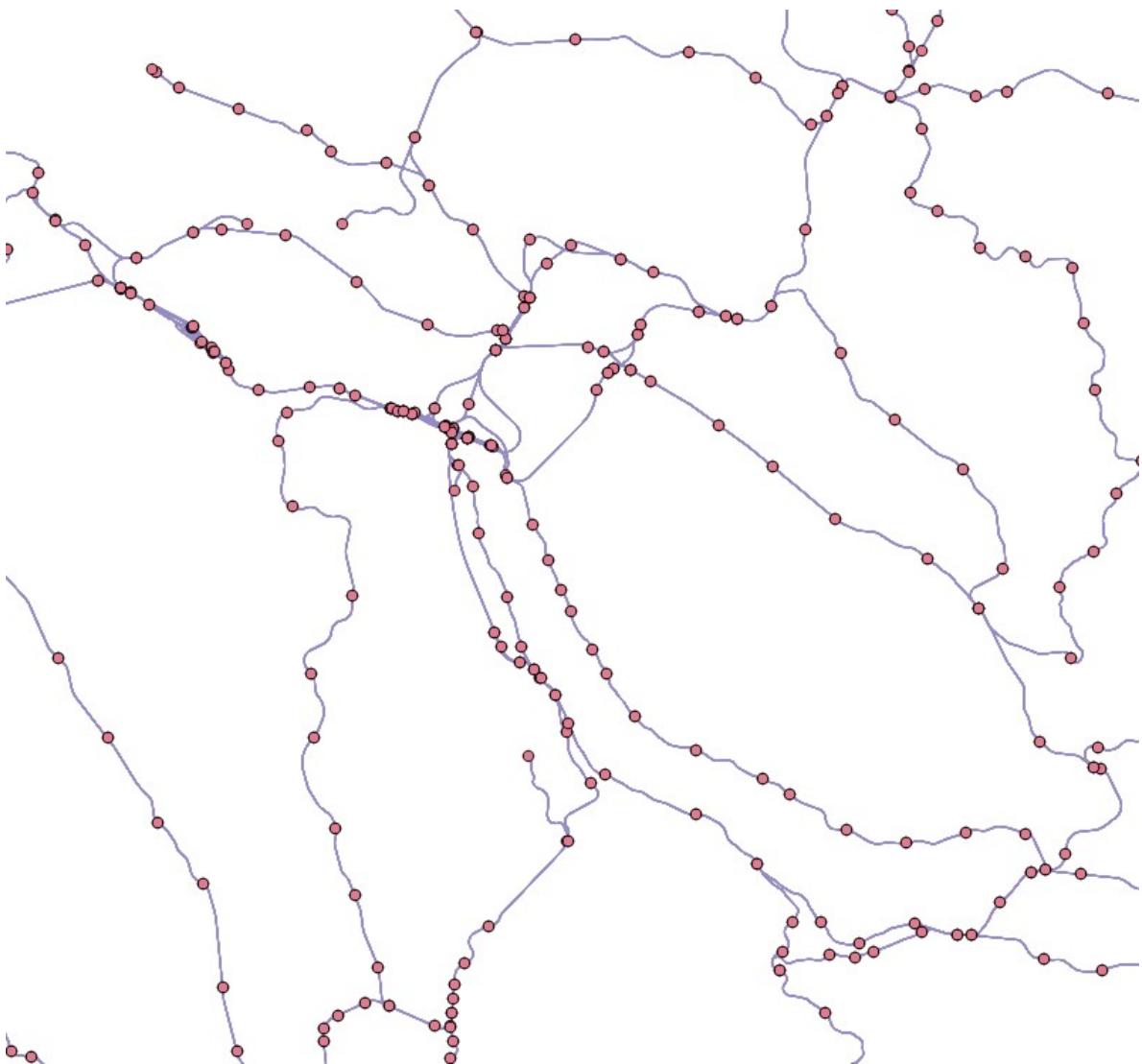
Fahrplanreferenzierte Netze

→ Map Matching mit sehr wenigen Kontrollpunkten



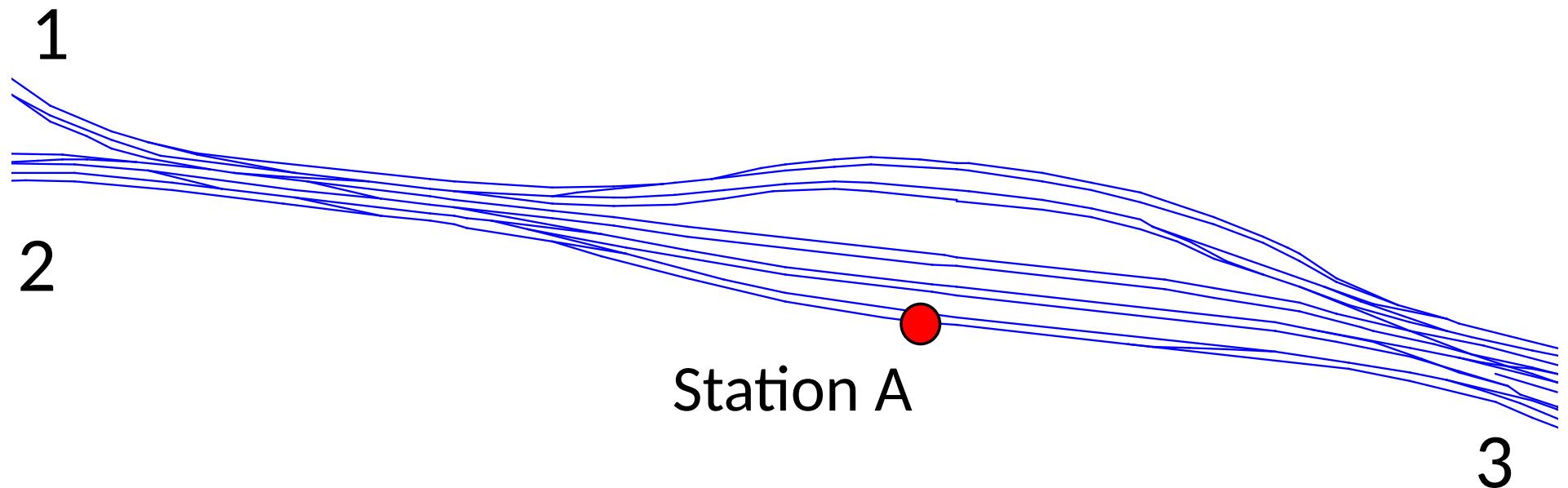
Automatisierte Erstellung von fahrplanreferenzierten ÖV-Netzen

Graphenerzeugung

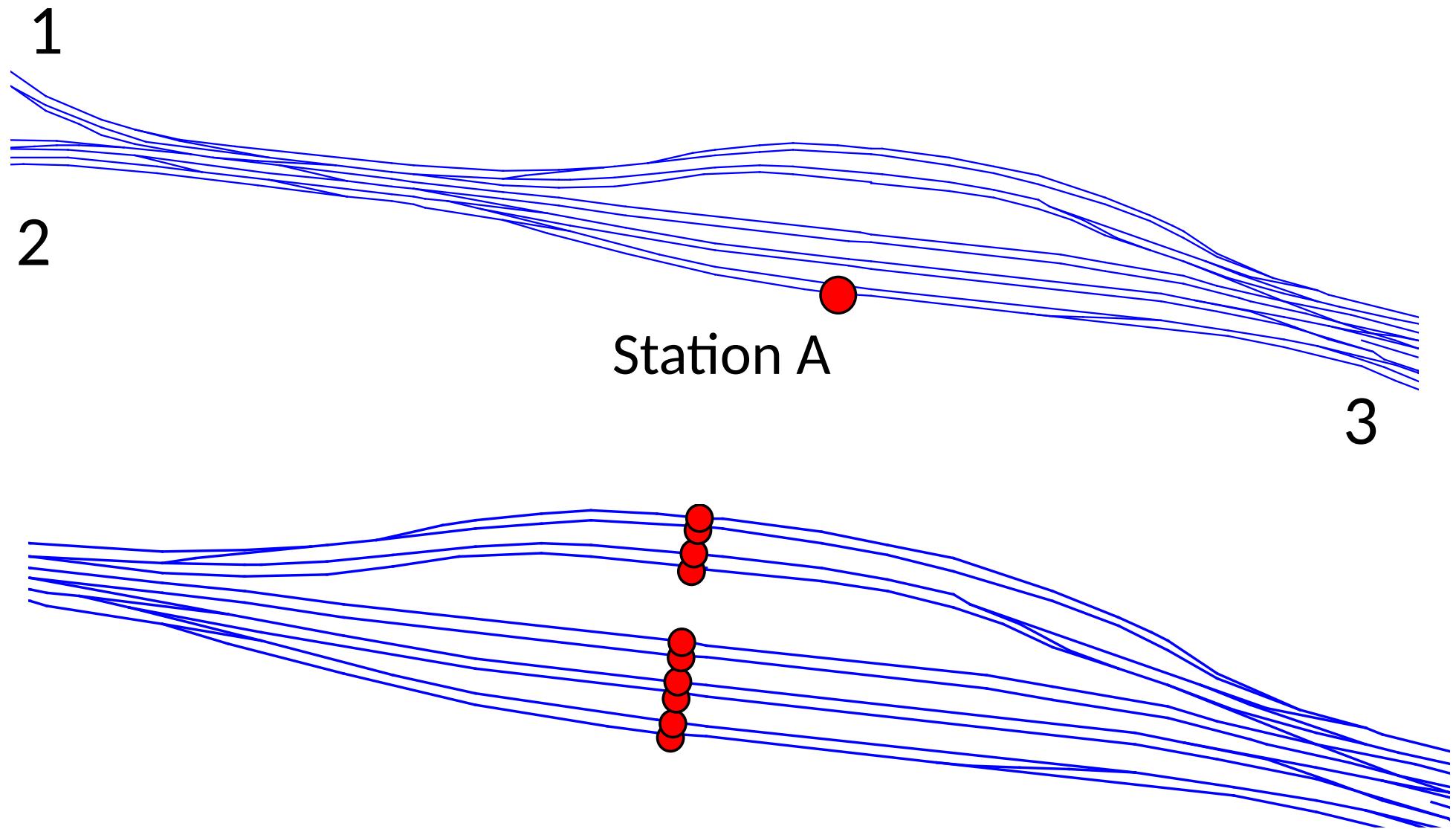


- 1) Sicherstellung der Netztopologie durch Heuristiken
- 2) Einsortierung der Haltestellen (evt. bereits in den Netzdaten vorhanden, dann Korrelierung zu den im Fahrplan definierten Stationen)
- 3) Einfügen von **Sekundärstationen**

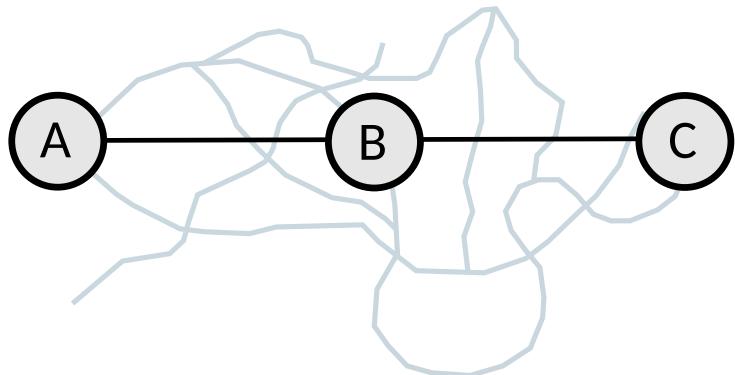
Graphenerzeugung - Sekundärstationen



Graphenerzeugung - Sekundärstationen

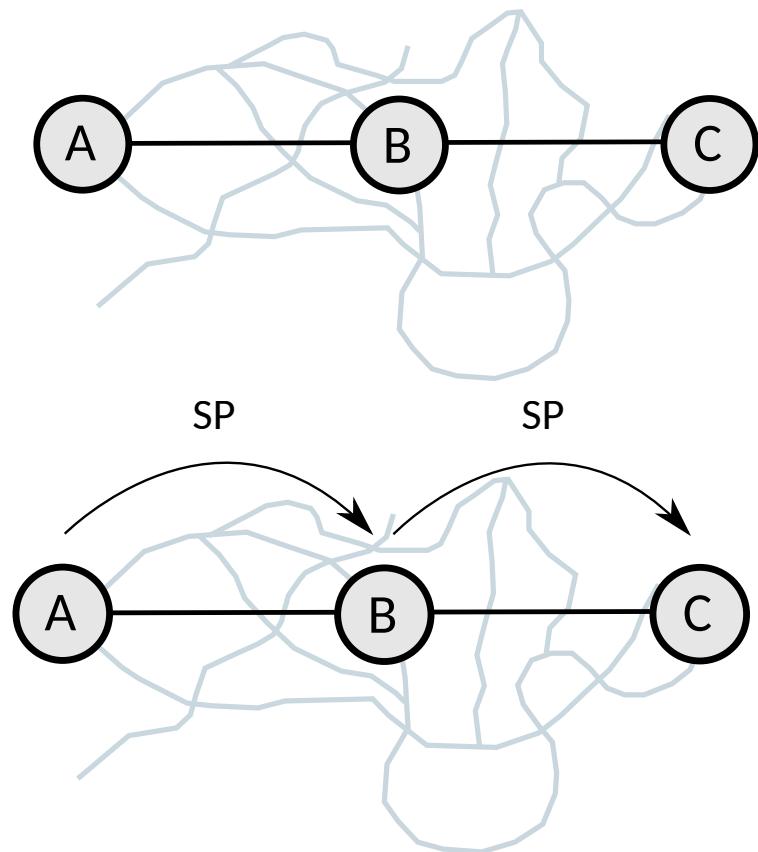


Netze durch iterative Routenfindung



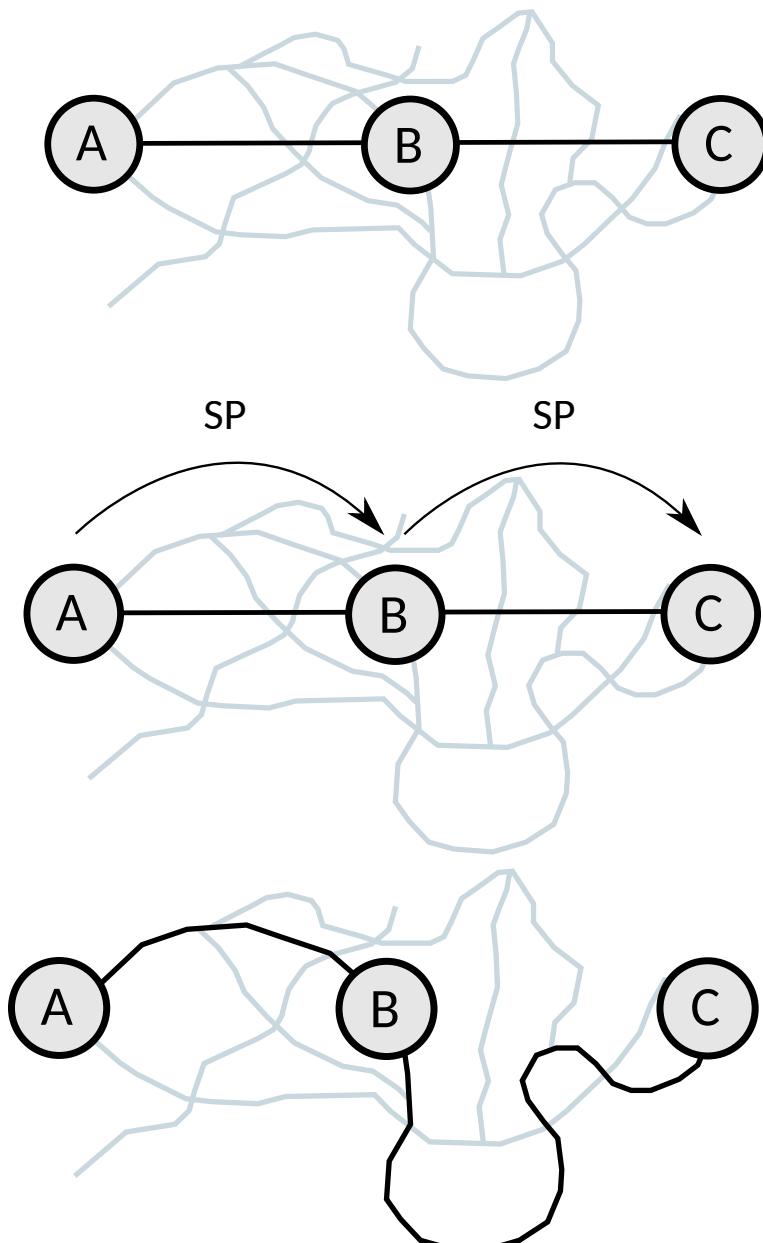
1. Ausgang ist der Fahrplan mit Stationsgeometrien als Korrelationseinstieg und das „flache“ Liniennetz

Netze durch iterative Routenfindung



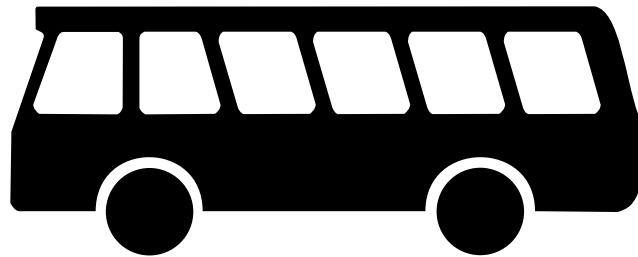
1. Ausgang ist der Fahrplan mit Stationsgeometrien als Korrelationseinstieg und das „flache“ Liniennetz
2. Iterativer Shortest-Path-Algorithmus zwischen aufeinanderfolgenden Stationen - „fahrtweglokal“

Netze durch iterative Routenfindung



1. Ausgang ist der Fahrplan mit Stationsgeometrien als Korrelationseinstieg und das „flache“ Liniennetz
2. Iterativer Shortest-Path-Algorithmus zwischen aufeinanderfolgenden Stationen - „fahrtweglokal“
3. Gefundener Pfad wird Teil der Fahrtgeometrie bzw. Fahrt wird in Kanten des Pfades eingetragen

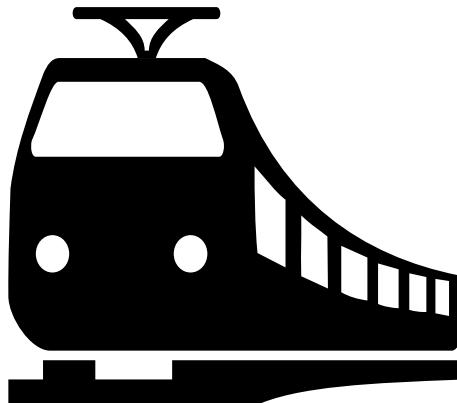
Heuristiken in Kostenfunktion



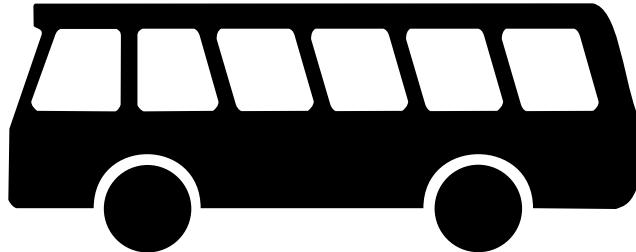
Kürzester Weg nicht immer korrekter Fahrtweg durch das Netz!

→ Nutzung von Heuristiken, die über die Kostenfunktion die Routenfindung beeinflussen

Heuristiken müssen **fahrzeugtypabhängig** sein



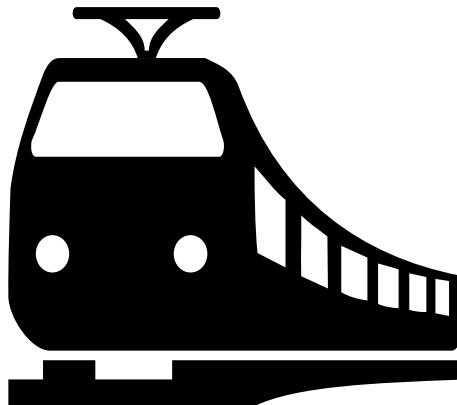
Heuristiken in Kostenfunktion



Kürzester Weg nicht immer korrekter Fahrtweg durch das Netz!

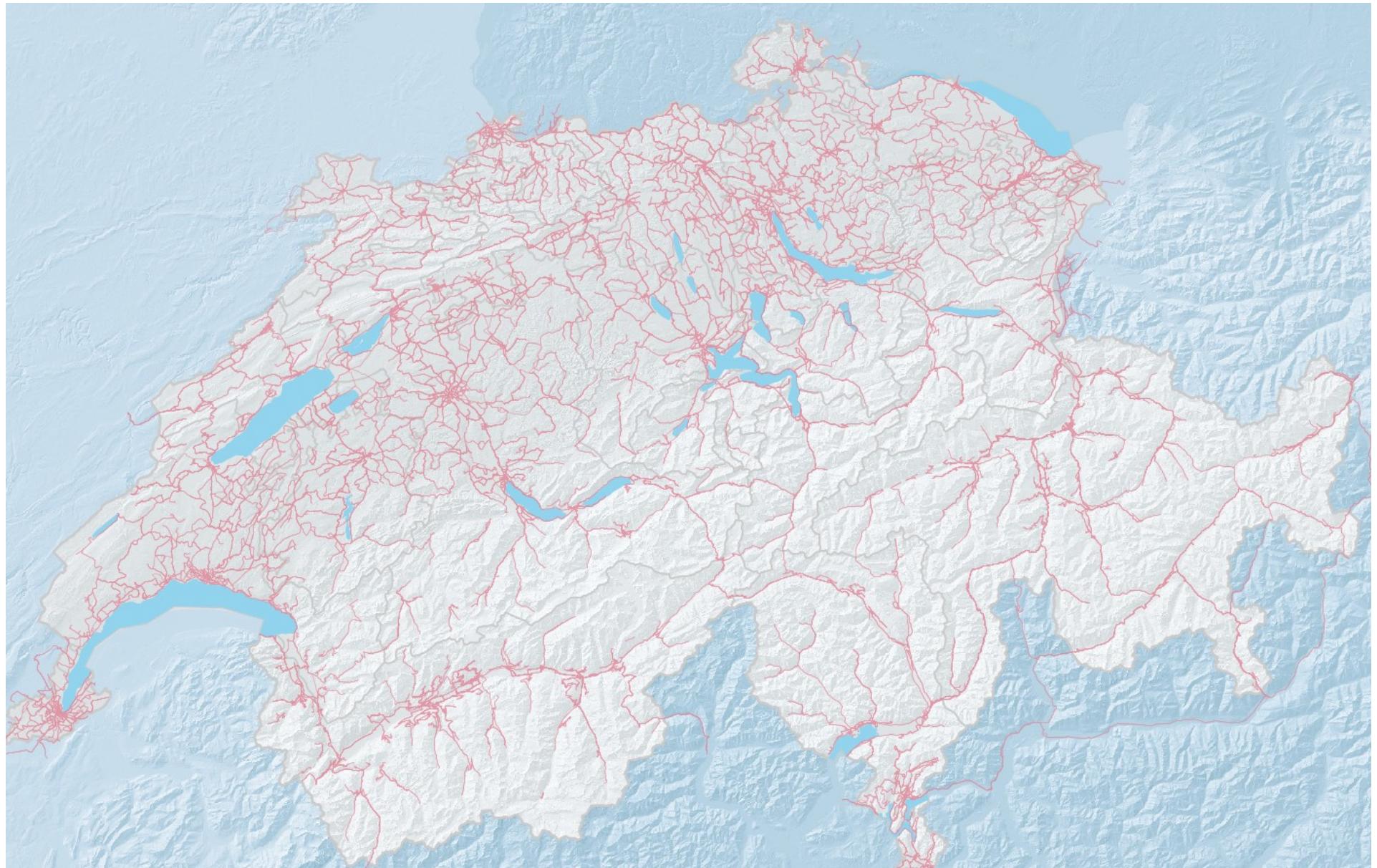
→ Nutzung von Heuristiken, die über die Kostenfunktion die Routenfindung beeinflussen

Heuristiken müssen **fahrzeugtypabhängig** sein

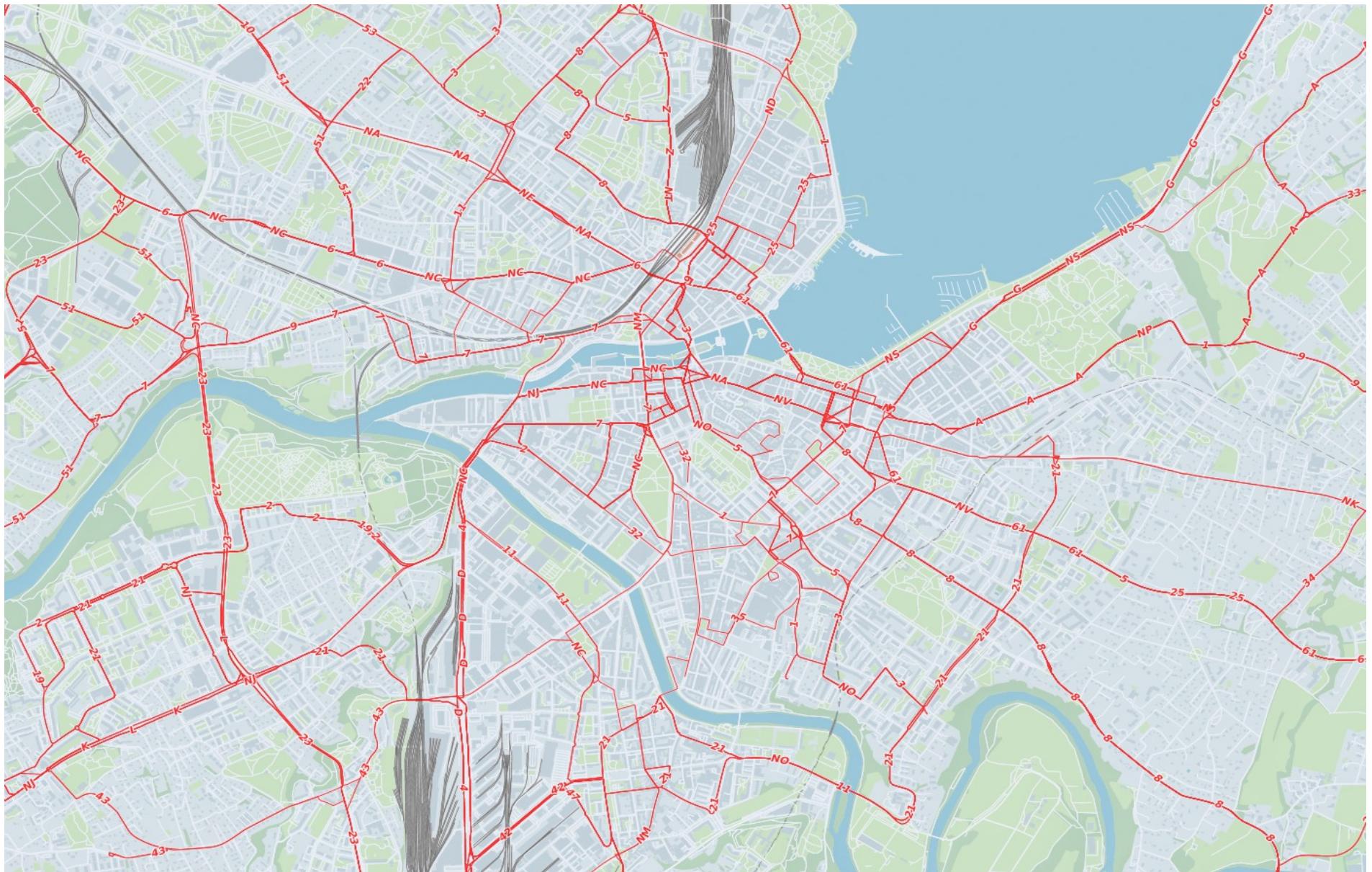


- Verteuerung bei „überfahrenen“ Stationen
- Verteuerung bei Wenden auf freier Strecke (schienegebundene Fahrzeuge)
- Reduzierung der Kosten basierend auf evt. vorhandenen Attributen in Netzdaten (Fahrzeugtypen, Linienbezeichnungen o.ä.)

Beispielergebnisse – Busnetz der Schweiz (~ 460.000 Fahrten)



Beispielergebnisse – Busnetz der Schweiz (Genf)



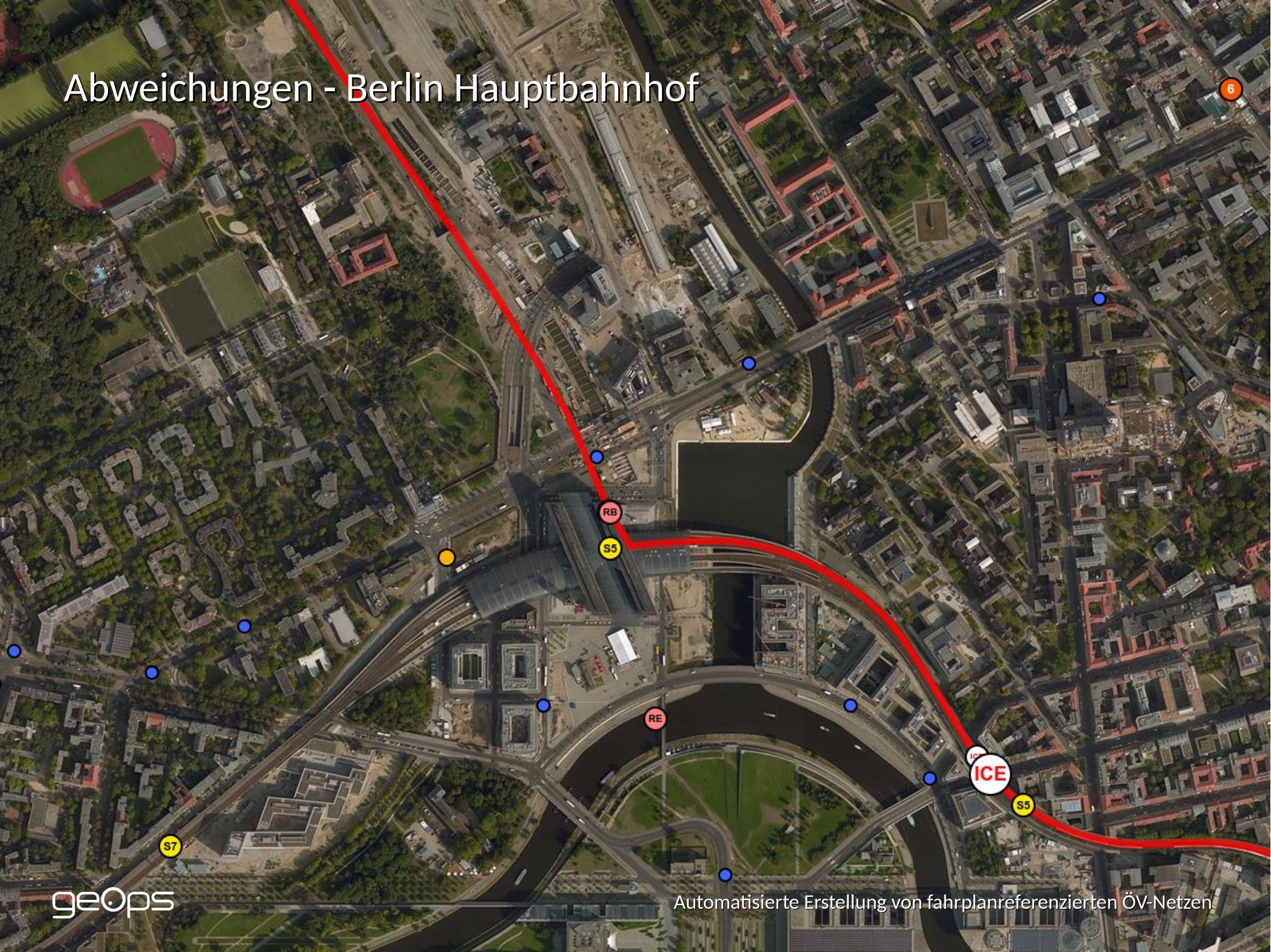
Abweichungen



- Das erlaubte Wechseln zwischen Sekundärstationen führt in einigen Fällen zu Artefakten
- Bei langen Fahrtwegen ohne Zwischenstationen (= ohne Kontrollpunkte) teilweise Abweichungen vom „korrekten“ Linienverlauf (z.B. Fernzüge)
- Probleme bei komplexen Bereichen im Netz

Abweichungen - Berlin Hauptbahnhof

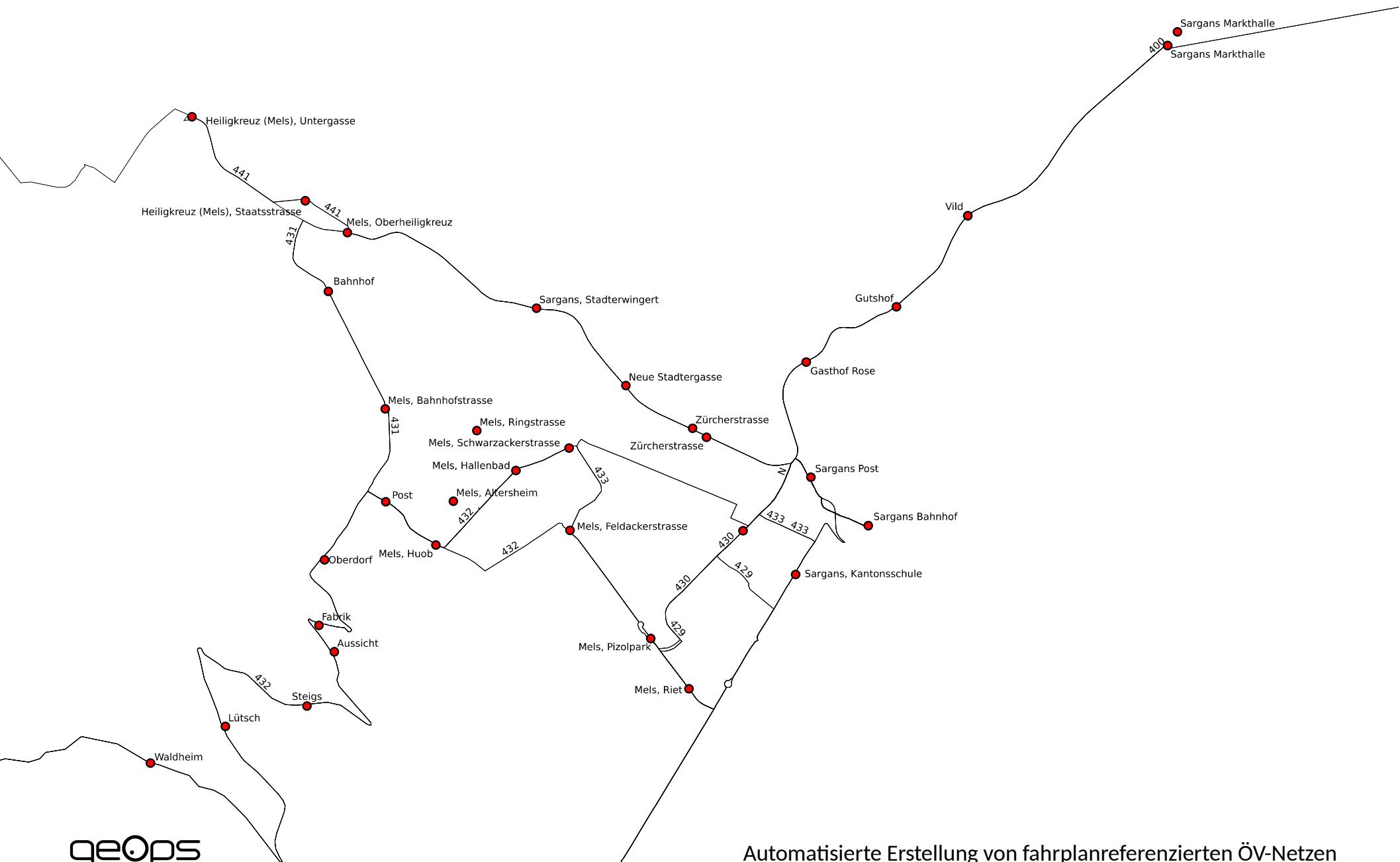
6



Beispielergebnisse – Busrelationen in Sargans (OSM)



Beispielergebnisse – Generiertes Busnetz



Beispielergebnisse – TRAVIC in Zürich



Fazit - Ausblick

- Shortest-Path-Suche erzeugt (mit geeigneten Kostenheuristiken) bereits sehr gute Ergebnisse – dennoch Verbesserungspotential vorhanden
- Verbesserungen entweder durch
 - Optimierung der Ausgangsdaten
 - Verfeinerung der Wegfindung und/oder der Kostenheuristiken
 - Bereitstellung von Tools zur Erstellung von Regelsets, die die Routenfindung steuern



Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen? Anmerkungen?

Uli Müller – uli.mueller@geops.de

Patrick Brosi – patrick.brosi@geops.de

- <http://twitter.com/geops>
- <http://maps.trafimage.ch>
- <http://tracker.geops.de/>