

PTNA: Qualitätssicherung für ÖPNV-Linien in OpenStreetMap

Toni Erdmann

Abstract

„PTNA - Public Transport Network Analysis“ ermöglicht eine SOLL-IST-Analyse für ÖPNV-Linien in OpenStreetMap [1]. Soll-Daten bestehen aus einer CSV-Liste von ÖPNV-Linien, jeweils mindestens aus der Liniennummer und dem Fahrzeugtyp. Diese Informationen werden in einer IST-Analyse mit den OSM-Daten verglichen. Zusätzlich erfolgt eine Fehleranalyse der einzelnen ÖPNV-Relationen in OSM.

PTNA sollte auf der FOSSGIS 2020 in Freiburg vorgestellt werden. Wegen Corona gibt es lediglich einen Beitrag im Tagungsband [2]. Dieser Beitrag stellt die wichtigsten Erweiterungen an PTNA seit März 2020 vor: eine Analyse von GTFS-Daten, sowie einen Vergleich von OSM-Daten mit GTFS-Daten. „GTFS“ steht für: "General Transit Feed Specification", „GTFS is a community-driven open standard for rider-facing transit information.“ [3][4][5].

Nutzung von PTNA

aaa

GTFS-Daten

Import von GTFS-Daten

GTFS-Daten müssen bezüglich ihrer Lizenz mit OSM kompatibel sein. CC0 ist ideal, für CC-BY-4.0 gilt das zum Beispiel nur, wenn die Form der „Namensnennung“ konkreter genannt wird. Für einige GTFS-Daten liegen Angaben seitens der Eigentümer der GTFS-Daten vor, die die Namensnennung im Verzeichnis der Beitragenden im OSM-Wiki [6] als ausreichend bestätigen.

PTNA prüft GTFS-Quellen regelmäßig auf neue Versionen der Daten. Es wird in der Regel nur die erste im Monat verfügbare Version importiert. Auf Anfrage kann ein Import angestoßen werden.

Aufbereitung von GTFS-Daten

Beim Import der GTFS-Daten wird aus den diversen CSV-Dateien des Datensatzes eine sqlite3-Datenbank aufgebaut. Ein zweiter, wichtiger Schritt ist die Reduktion der Datenmenge durch Aggregierung, aus OSM-Sicht, redundanter Informationen. Das ist im Wesentlichen die Zusammenfassung identische Trips mit der selben Reihenfolge von Haltestellen aber unterschiedlichen Abfahrtzeiten zu einem repräsentativen Trip.

Analyse von GTFS-Daten

Um die Verwendbarkeit der GTFS-Daten für OSM zu bestimmen werden von PTNA diverse Analysen durchgeführt:

- 1) Ist ein Trip eine Teilroute eines anderen Trips bezüglich der Haltestellen
- 2) Besteht ein Trip nur aus 2 Haltestellen (Ausnahme: Seilbahnen, Fähren, ...)
- 3) Haben die erste und zweite Haltestelle den selben Namen, die selbe *stop_id*
- 4) Haben die vorletzte und letzte Haltestelle den selben Namen, die selbe *stop_id*
- 5) Unterscheiden sich zwei Trips nur durch die *shape_id* der Fahrstrecke
- 6) Unterscheiden sich zwei Trips nur durch die *stop_id* der Haltestellen
- 7) Beträgt die Fahrzeit eines Trips 0 Sekunden

Die Ergebnisse dieser Prüfungen werden als „PTNA Kommentar“ zum jeweiligen GTFS-*trip* ausgegeben. Diese Kommentare sollen als Hilfe beim Mappen dienen, wenn entschieden werden soll, ob ein GTFS-*trip* auch in den OSM-Daten gemapped werden soll. Gerade Punkt 6) ist häufig bei GTFS-Daten für Züge zu sehen, die in den Bahnhöfen mal das eine und mal das andere Gleis nutzen: *stop_name* identisch, *stop_id* unterschiedlich.

Normalisierung von Namen im GTFS-Datensatz

In GTFS-Datensätzen sind die Namen von Haltestellen häufig abgekürzt. In OSM hingegen gilt die Regel: Namen werden ausgeschrieben. PTNA führt daher für den Deutschsprachigen Raum eine Normalisierung/Expansion von Namen für die GTFS-Daten durch, z.B.:

- „Friedenstr.“
 - de_DE und de_AT: „Friedenstraße“
 - de_CH: „Friedenstrasse“
- „W.-Heisenberg-W.“
 - „Werner-Heisenberg-Weg“
- „Bruck Abzw.“
 - de_DE und de_CH: „Bruck Abzweig“
 - de_AT: „Bruck Abzweigung“

Die Eigentümer der GTFS-Datensätze sind beim Abkürzen sehr kreativ: PTNA kann bezüglich der Normalisierung der Namen nie vollständig sein.

Darstellung der GTFS-Daten auf der PTNA Webseite

Auf der Einstiegsseite von PTNA [1] ist ...

Vergleich von GTFS-Daten mit OSM-Daten

Begrifflichkeiten: GTFS versus OSM

GTFS und OSM nutzen unterschiedliche Begriffe für Objekte des ÖPNV. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die von PTNA verwendeten Elemente und deren Entsprechungen. Für OSM gilt dabei die so genannte „Public Transport Version 2“ („PTv2“) [7].

GTFS Begriff	OSM Begriff (PTv2)	Anmerkung
<i>feed</i>	<i>network:guid</i>	Viele GTFS-Datensätze werden von den Verkehrsverbünden herausgegeben. PTNA vergibt generische <i>feed</i> -Namen [8], die in OSM als <i>network:guid</i> verwendet werden können: - <i>network</i> = Münchener Verkehrs- und Tarifverbund - <i>network:short</i> = MVV - <i>network:guid</i> = DE-BY-MVV
<i>route</i>	<i>route_master</i>	Fasst alle Fahrten einer ÖPNV-Linie zusammen.
<i>route_id</i>		Eindeutige ID einer <i>route</i> .
<i>route_short_name</i>	<i>ref</i>	Das OSM Tag <i>ref</i> einer <i>route_master/route</i> Relation.
<i>route_color</i>	<i>colour</i>	Die Hintergrundfarbe der Linienbezeichnung.
<i>route_text_color</i>	<i>colour:text</i>	Die Textfarbe der Linienbezeichnung.
<i>trip</i>	<i>route</i>	Ein GTFS- <i>trip</i> entspricht einer einzelnen Fahrt zu einer bestimmten Uhrzeit, definiert durch die angefahrenen Stops und optionaler Fahrstrecke (<i>shape</i>). Eine OSM- <i>route</i> beschreibt alle Fahrten, die die selben Stops anfahren plus deren Fahrstrecke.
<i>trip_id</i>		Eindeutige ID eines <i>trips</i> .

<i>shape</i>		In GTFS: die eigentliche Fahrstrecke (optional). In OSM ist das die Kette der <i>highway/railway/...</i> member einer <i>route</i> Relation (ohne <i>'role'</i>).
<i>shape_id</i>		Eindeutige ID eines <i>shapes</i> .
<i>stop</i>	<i>public_transport=platform</i>	Ein <i>stop</i> entspricht der neben dem Fahrweg liegenden <i>platform</i> .
<i>stop_id</i>	<i>ref:IFOPT, ...</i>	Eindeutige ID eines <i>stops</i> , nicht immer identisch mit <i>ref:IFOPT, ...</i>
<i>stop_lat</i>	<i>lat</i>	Breitengrad der Haltestelle.
<i>stop_lon</i>	<i>lon</i>	Längengrad der Haltestelle.
<i>stop_name</i>	<i>name</i>	Name einer Haltestelle.
	<i>public_transport=stop_position</i>	Den Begriff „Halteposition des Fahrzeugs“ gibt es in GTFS nicht.
<i>agency_name</i>	<i>operator</i>	Bei manchen GTFS-Daten kann der Name der <i>agency</i> als OSM- <i>operator</i> einer <i>route_master/route</i> Relation genutzt werden.

Tabelle 1: Vergleich GTFS vs. OSM Begriffe

Für den Vergleich von GTFS- und OSM-Daten können die aufbereiteten und analysierten GTFS-Daten auf verschiedene Arten genutzt werden.

Nutzung von GTFS-Daten in der CSV-Liste im OSM-Wiki

Es erfolgt eine Definition des GTFS-feed und der GTFS-route_id in den **SOLL-Daten** = der **CSV-Liste im OSM-Wiki**.

- Änderungen erfolgen lediglich an Daten im OSM-Wiki, nicht an OSM-Daten
- Die erstmalige Erstellung kann durch PTNA unterstützt werden
 - Export der GTFS-routen als CSV-Liste
- Wartung hält sich in Grenzen,
 - wenn die GTFS-route_id stabil [5] bleibt und weil GTFS-trip_ids nicht enthalten sind
 - Lediglich neue und eingestellte Linien müssen dann eingepflegt werden
- Im PTNA-Report erscheint jeweils ein GTFS-Link und ein Vergleiche-Icon
- Beispiel für CSV-Daten im OSM-Wiki für den Bus 210 im Münchener Verkehrs- und Tarifverbund:
 - 210;bus;;Brunnthal, Zusestraße;Neuperlach Süd (U/S);Verkehrsbetrieb Ettenhuber GmbH;**DE-BY-MVV;mvv-19-210-1**

Nutzung von GTFS-Daten in OSM route_master / route Relationen

Die Definition des GTFS-feed, der GTFS-route_id bzw. GTFS-trip_id erfolgt im OSM-Datensatz der route_master- bzw. route-Relation als IST-Daten [9].

- Änderungen erfolgen an OSM-Daten
- Aufwändig in der Erstellung
- Gegebenenfalls aufwändig in der Wartung
 - Das hängt von der Stabilität der GTFS-id-Daten über mehrere Versionen hinweg ab (route_id, trip_id, shape_id, stop_id) [5]
- Erstellung und Wartung kann durch den vorangegangenen Abschnitt (GTFS-Daten in CSV-Liste im OSM-Wiki) und den dort möglichen Vergleich erleichtert werden
- Om PTNA-Report erscheint für jede so getaggte Relation ein GTFS-Link und ein Vergleiche-Icon
- Beispiel für die tags in einer OSM-route-Relation des Busses 210:
 - gtfs:feed=DE-BY-MVV
 - gtfs:route_id=mvv-19-210-1
 - gtfs:trip_id:sample=mvv-19-210-1-1-1-H-0-MoTuWeThFrSaSu-119-344

Bedeutung von Links im PTNA-Report

Abbildung 1 zeigt einen Auszug aus einem PTNA-Report. Der Auszug korrespondiert mit dem folgenden Eintrag in den CSV-Daten im OSM-Wiki:

210;bus;;Brunnthal, Zusestraße;Neuperlach Süd (U/S);Verkehrsbetrieb Ettenhuber GmbH;DE-BY-MVV;mvv-19-210-1

Name (name=)	Typ (type=)	Relation (id=)	PTy	Fehler	Anmerkungen
210	route_master	67811 (ID, JOSM, UNROLL, GTFS, 1)	3	Von: Brunnthal, Zusestraße; Nach: Neuperlach Süd (U/S); Betreiber: Verkehrsbetrieb Ettenhuber GmbH; DE-BY-MVV; mvv-19-210-1	'check_date' = '2024-12-24'
Bus 210: Brunnthal, Zusestraße => Neuperlach Süd (S/U)	route	1549761 (ID, JOSM, Relativ, PTNA, GTFS, 2)	4		'check_date' = '2024-12-24'
Bus 210: Neuperlach Süd (S/U) => Brunnthal, Zusestraße	route	1549762 (ID, JOSM, Relativ, PTNA, GTFS, 2)	5		'check_date' = '2024-12-24'

Abbildung 1: PTNA-Report für den Bus 210

Für die Analyse und den **Vergleich von GTFS- und OSM-Daten** finden sich diverse Links:

- 1) Ein **GTFS-Link** in der Kopfzeile außen rechts führt zu einer **Analyse** der GTFS-*route* mit einem Überblick über die zugehörigen GTFS-*trips*. Die genutzten GTFS-Daten werden der **CSV-Liste im OSM-Wiki** entnommen (Abbildung 2).

Variante	Trip-ID	Anzahl Fahrten	Gültigkeit		Haltestellen	Über	Ende	PTNA Info Kommentar
			Von	Bis				
1	mvv-19-210-1-1-1-H-0-MoTuWeThFrSaSu-119-344	7037 (7325)	2025-01-13	2025-03-30	Brunnthal, Zusestraße	Taufk., W-MesserschmittStr => Taufkirchen, Lilienthalstr => Ottobrunn, Einsteinstraße => Ottobrunn, Röntgenstraße => Ottobrunn, Robert-Koch-Str. => Ottobrunn, Ottostraße => Ottobrunn, Hubertusstraße => Ottobrunn, Ortsmitte => Ottobrunn, Jahnhstraße => Ottobrunn, Bahnhofstraße => Ottobrunn, Alte Landstraße => Neubiberg, W-Heisenberg W.	Neuperlach Süd	
2	mvv-19-210-1-1-4-R-0-Su-1-1	6896	2025-01-13	2025-03-30	Neuperlach Süd	Neubiberg, W-Heisenberg W => Ottobrunn, Alte Landstraße => Ottobrunn, Bahnhofstraße => Ottobrunn, Jahnhstraße => Ottobrunn, Ortsmitte => Ottobrunn, Hubertusstraße => Ottobrunn, Ottostraße => Ottobrunn, Finkenstraße => Ottobrunn, Robert-Koch-Str. => Ottobrunn, Röntgenstraße => Ottobrunn, Einsteinstraße => Taufkirchen, Lilienthalstr. => Taufk., W-MesserschmittStr.	Brunnthal, Zusestraße	
3	mvv-19-210-1-1-7-R-1-MoTuWeThFr#2-225-268	624	2025-01-13	2025-03-28	Neuperlach Süd	Neubiberg, W-Heisenberg W => Ottobrunn, Alte Landstraße => Ottobrunn, Bahnhofstraße => Ottobrunn, Jahnhstraße	Ottobrunn, Ortsmitte	
4	mvv-19-210-1-1-2-H-1-MoTuWeThFr#2-219-447	288	2025-01-13	2025-03-28	Ottobrunn, Jahnhstraße	Ottobrunn, Bahnhofstraße => Ottobrunn, Alte Landstraße => Neubiberg, W-Heisenberg W.	Neuperlach Süd	Fahrt ist Teilroute von: mvv-19-210-1-1-H-0-MoTuWeThFrSaSu-119-344

Abbildung 2: Übersicht über die *trips* einer GTFS-*route*

- 2) Ein **Vergleiche**-Icon in der Kopfzeile außen rechts führt zu einem Vergleich der GTFS-route mit dem OSM-route_master. Die genutzten GTFS-Daten werden der **CSV-Liste im OSM-Wiki** entnommen (Abbildung 3).

Compare GTFS route with OSM route_master																																																																						
General information																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>type</th><th>links</th><th>id</th><th>ref</th><th>feed</th><th>release date</th><th>members</th><th colspan="2"></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rows: GTFS route</td><td></td><td>mvv-19-210-1</td><td>210</td><td>DE-BY-MVV</td><td>latest</td><td>GTFS trips of GTFS route</td><td colspan="2"></td></tr> <tr> <td>Columns: OSM route_master</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>67811</td><td>210</td><td colspan="2" rowspan="3">OSM routes of OSM route_master</td></tr> </tbody> </table>									type	links	id	ref	feed	release date	members			Rows: GTFS route		mvv-19-210-1	210	DE-BY-MVV	latest	GTFS trips of GTFS route			Columns: OSM route_master					67811	210	OSM routes of OSM route_master																																				
type	links	id	ref	feed	release date	members																																																																
Rows: GTFS route		mvv-19-210-1	210	DE-BY-MVV	latest	GTFS trips of GTFS route																																																																
Columns: OSM route_master					67811	210	OSM routes of OSM route_master																																																															
Mismatch Score Table																																																																						
<p>Small values indicate a good match between GTFS trip and OSM route/GTFS trip. For a more detailed comparison, click on a number.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Select rows where all scores >= x %</th><th>30 </th><th><input type="radio"/> Add to selection</th><th><input type="radio"/> Replace selection</th><th colspan="5"></th></tr> <tr> <th>Show all</th><th>Hide selected</th><th>Clear selections</th><th colspan="5">OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'</th></tr> <tr> <th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>1</td><td>7037</td><td>Brunnthal, Zusestraße => 12 stops => Neuperlach Süd</td><td></td><td>0.00%</td><td>49.22%</td><td>61.94%</td><td>70.50%</td></tr> <tr> <td>2</td><td>2</td><td>6896</td><td>Neuperlach Süd => 13 stops => Brunnthal, Zusestraße</td><td></td><td>50.31%</td><td>0.22%</td><td>39.94%</td><td>66.38%</td></tr> <tr> <td>3</td><td>3</td><td>624</td><td>Neuperlach Süd => 4 stops => Ottobrunn, Ortsmitte</td><td></td><td>53.13%</td><td>39.31%</td><td>0.00%</td><td>42.31%</td></tr> <tr> <td>4</td><td>4</td><td>288</td><td>Ottobrunn, Jahnstraße => 3 stops => Neuperlach Süd</td><td></td><td>60.56%</td><td>57.19%</td><td>39.97%</td><td>0.00%</td></tr> </tbody> </table>									Select rows where all scores >= x %	30	<input type="radio"/> Add to selection	<input type="radio"/> Replace selection						Show all	Hide selected	Clear selections	OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'														1	1	7037	Brunnthal, Zusestraße => 12 stops => Neuperlach Süd		0.00%	49.22%	61.94%	70.50%	2	2	6896	Neuperlach Süd => 13 stops => Brunnthal, Zusestraße		50.31%	0.22%	39.94%	66.38%	3	3	624	Neuperlach Süd => 4 stops => Ottobrunn, Ortsmitte		53.13%	39.31%	0.00%	42.31%	4	4	288	Ottobrunn, Jahnstraße => 3 stops => Neuperlach Süd		60.56%	57.19%	39.97%	0.00%
Select rows where all scores >= x %	30	<input type="radio"/> Add to selection	<input type="radio"/> Replace selection																																																																			
Show all	Hide selected	Clear selections	OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'																																																																			
1	1	7037	Brunnthal, Zusestraße => 12 stops => Neuperlach Süd		0.00%	49.22%	61.94%	70.50%																																																														
2	2	6896	Neuperlach Süd => 13 stops => Brunnthal, Zusestraße		50.31%	0.22%	39.94%	66.38%																																																														
3	3	624	Neuperlach Süd => 4 stops => Ottobrunn, Ortsmitte		53.13%	39.31%	0.00%	42.31%																																																														
4	4	288	Ottobrunn, Jahnstraße => 3 stops => Neuperlach Süd		60.56%	57.19%	39.97%	0.00%																																																														

Abbildung 3: Vergleich von GTFS-route mit OSM-route_master in Tabellenform

- 3) Ein **GTFS-Link** in der dritten Spalte einer OSM-route_master-Relation führt zu einer **Analyse** der GTFS-route mit einem Überblick über die zugehörigen GTFS-trips. Die genutzten GTFS-Daten werden den **gtfs:*** Angaben der **route_master-Relation** entnommen (siehe Abbildung 2 oben).
- 4) Ein **Vergleiche**-Icon in der dritten Spalte einer OSM-route_master-Relation führt zu einem Vergleich der GTFS-route mit dem OSM-route_master. Die genutzten GTFS-Daten werden den **gtfs:*** Angaben der **route_master-Relation** entnommen (siehe Abbildung 3 oben).

PTNA: Qualitätssicherung für ÖPNV-Linien in OpenStreetMap

- 5) Ein **GTFS-Link** in der dritten Spalte einer OSM-route-Relation führt zu einer **Analyse** des GTFS-trips, mit Karte und Details (scrollen) zum Trip. Die genutzten GTFS-Daten werden den **gtfs:*** Angaben der **route-Relation** entnommen (Abbildung 4).

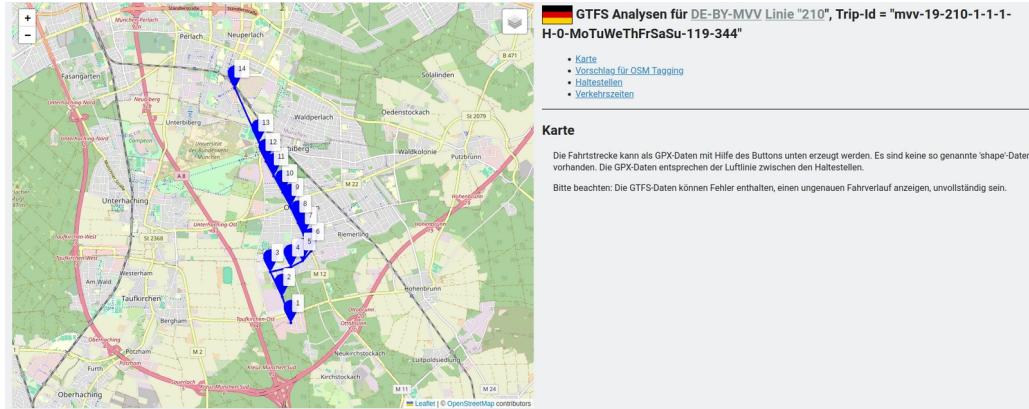


Abbildung 4: Analyse eines GTFS-trips durch PTNA

- 6) Ein **Vergleiche**-Icon in der dritten Spalte einer OSM-route-Relation führt zu einem Vergleich des GTFS-trips mit der OSM-route. Die genutzten GTFS-Daten werden den **gtfs:*** Angaben der **route-Relation** entnommen (Abbildung 5 und 6).

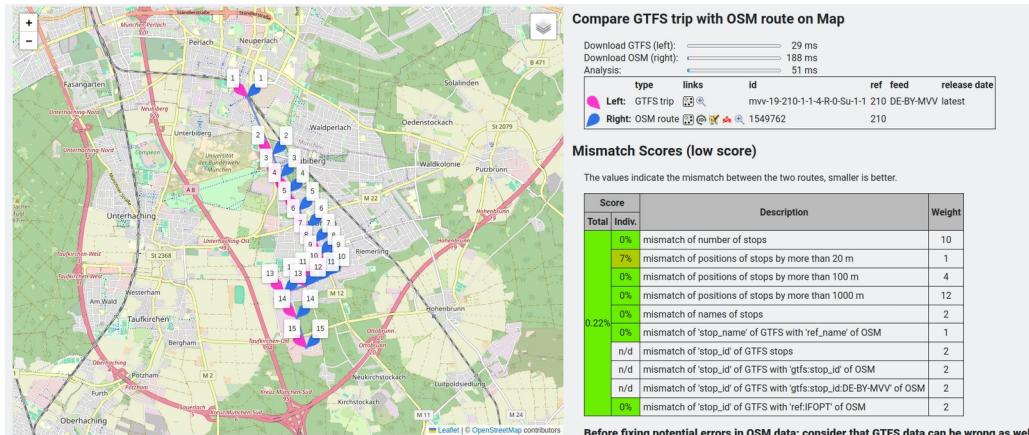


Abbildung 5: Vergleich von GTFS-trip mit OSM-route auf Karte und score-Tabelle

Stop Number	Stop data of GTFS trip mvv-19-210-1-1-4-R-0-Su-1-1				Distance [m]	Platform data of OSM route 1549762						Platform Number	Edit with
	stop_id	stop_lat	stop_lon	stop_name		name	ref_name	lat	lon	ref:POI			
1	de:09162:1010:5:48.08947	11.64406		Neuperlach Süd	◀ 1 ▶ 1	Neuperlach Süd		48.08946	11.64405	de:09162:1010:5:1	1	☒ ☒ ☒	
2	de:09184:2302:0:48.07826	11.65148		Neubiberg, Werner-Heisenberg-Weg	◀ 4 ▶ 4	Werner-Heisenberg-Weg		48.07824	11.65143	de:09184:2302:0:2	2	☒ ☒ ☒	
3	de:09184:2189:0:48.07389	11.65392		Ottobrunn, Alte Landstraße	◀ 1 ▶ 1	Alte Landstraße		48.07387	11.65391	de:09184:2189:0:2	3	☒ ☒ ☒	
4	de:09184:2235:0:48.07095	11.65627		Ottobrunn, Bahnhofstraße	◀ 4 ▶ 4	Bahnhofstraße		48.07091	11.65628	de:09184:2236:0:2	4	☒ ☒ ☒	
5	de:09184:2235:0:48.06738	11.65917		Ottobrunn, Jahnstraße	◀ 10 ▶ 10	Jahnstraße		48.06730	11.65924	de:09184:2235:0:2	5	☒ ☒ ☒	
6	de:09184:2238:3:48.06392	11.66175		Ottobrunn, Ortsmitte	◀ 5 ▶ 5	Ortsmitte		48.06397	11.66174	de:09184:2238:3:2	6	☒ ☒ ☒	
7	de:09184:2242:0:48.06108	11.66386		Ottobrunn, Hubertusstraße	◀ 1 ▶ 1	Hubertusstraße		48.06109	11.66385	de:09184:2242:0:2	7	☒ ☒ ☒	
8	de:09184:2192:3:48.05876	11.66551		Ottobrunn, Ottostraße	◀ 2 ▶ 2	Ottostraße		48.05874	11.66550	de:09184:2192:3:2	8	☒ ☒ ☒	
9	de:09184:2196:0:48.05684	11.66688		Ottobrunn, Finkenstraße	◀ 0 ▶ 0	Finkenstraße		48.05684	11.66688	de:09184:2196:0:1	9	☒ ☒ ☒	
10	de:09184:2203:0:48.05463	11.66774		Ottobrunn, Robert-Koch-Straße	◀ 11 ▶ 11	Robert-Koch-Straße		48.05460	11.66770	de:09184:2203:0:1	10	☒ ☒ ☒	
11	de:09184:2247:0:48.05355	11.66458		Ottobrunn, Röntgenstraße	◀ 2 ▶ 2	Röntgenstraße		48.05354	11.66456	de:09184:2247:0:2	11	☒ ☒ ☒	
12	de:09184:2245:0:48.05252	11.66115		Ottobrunn, Einsteinstraße	◀ 23 ▶ 23	Einsteinstraße		48.05250	11.66084	de:09184:2245:0:2	12	☒ ☒ ☒	
13	de:09184:2389:0:48.05128	11.65496		Taufkirchen, Lillenthalstraße	◀ 3 ▶ 3	Lillenthalstraße		48.05126	11.65493	de:09184:2389:0:3	13	☒ ☒ ☒	
14	de:09184:2437:0:48.04629	11.65860		Taufkirchen, Willy-Messerschmitt-Straße	◀ 3 ▶ 3	Willy-Messerschmitt-Straße		48.04630	11.65856	de:09184:2437:0:1	14	☒ ☒ ☒	
15	de:09184:2315:0:48.04050	11.66141		Brunnthal, Zusestraße	◀ 8 ▶ 8	Zusestraße		48.04043	11.66144	de:09184:2315:0:1	15	☒ ☒ ☒	

Abbildung 6: Vergleich von GTFS-trip mit OSM-route mit Haltestellen-Tabelle

PTNA: Qualitätssicherung für ÖPNV-Linien in OpenStreetMap

- 7) Ein PTNA-Link in der dritten Spalte führt zu einer **Analyse** der OSM-route-Relation, mit Karte und Details der einzelnen Elemente der Relation (Abbildung 7).

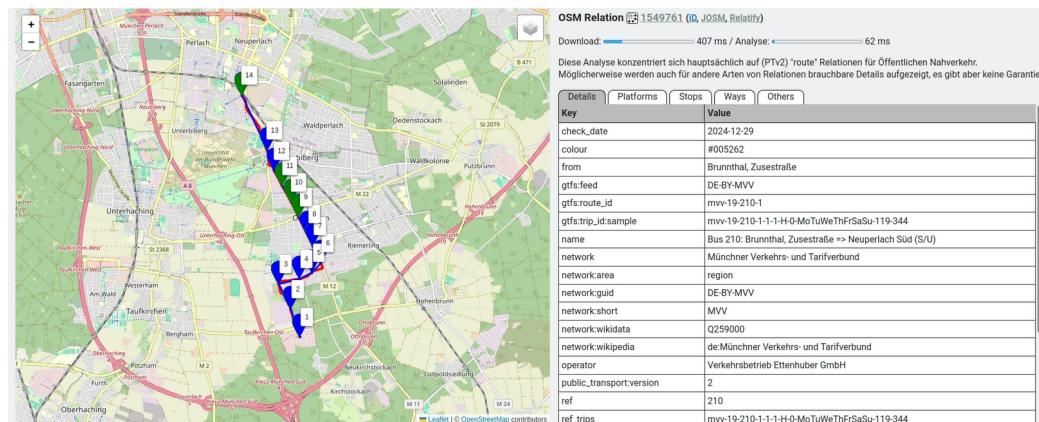


Abbildung 7: Analyse einer OSM-route-Relation durch PTNA

Abbildung 8 zeigt eine OSM-route-Relation , bei der die Reihenfolge der Haltestellen nicht korrekt erscheint: Haltestellen (PTv2-platforms) 3 und 4 sind vertauscht.

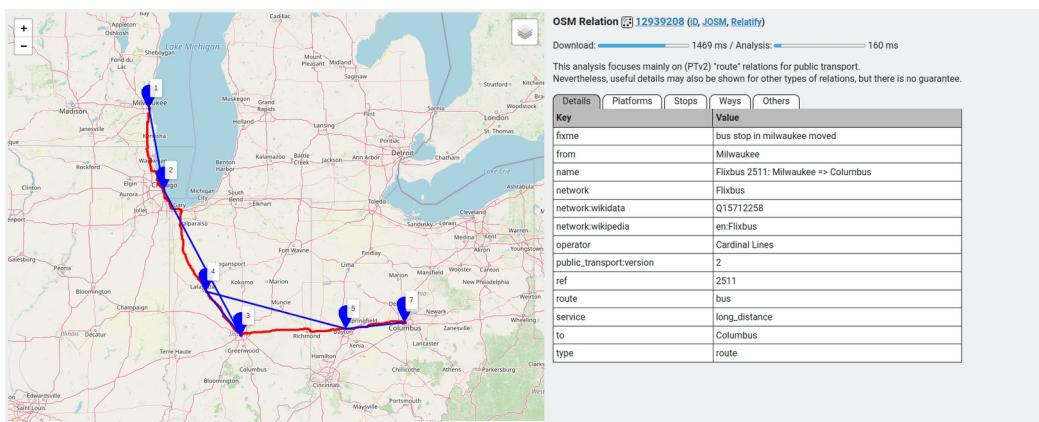


Abbildung 8: Analyse einer fehlerhaften OSM-route-Relation durch PTNA

Visueller Vergleich

Hierbei erfolgt der Vergleich eines GTFS-*trip* und einer OSM-*route* auf getrennten Karten

- Keinerlei Änderungen an bestehenden OSM-Daten notwendig
- Mühsam in der Anwendung.

Die Links zu **GTFS** (5) und **PTNA** (7) im PTNA-Report führen für GTFS-*trips* und OSM-*routes* zu identisch aufgebauten Karten auf den Webseiten.

Ohne GTFS-Link im PTNA-Report muss die Analyse über die Länderspezifische GTFS-Übersicht, den GTFS-feed, die GTFS-*route* und den passenden GTFS-*trip* gesucht werden.

Ein visueller Vergleich kann mittels zweier Browserfenster erfolgen (Abbildung 9 und 10 zeigen Ausschnitte der Fenster).

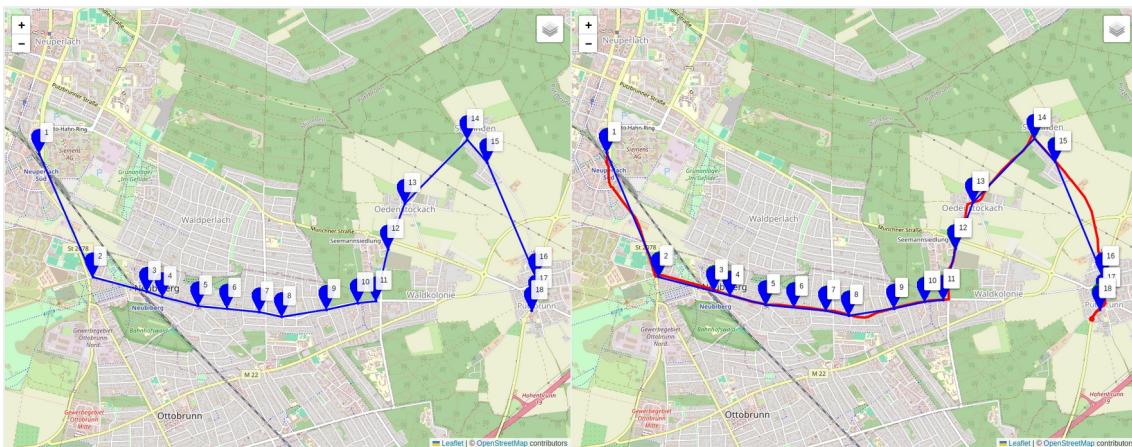


Abbildung 9: GTFS-*trip* auf Karte (ohne shape) Abbildung 10: OSM-*route* auf Karte (mit shape)

Vergleich von GTFS-route- mit OSM-route_master-Daten

Der Link bei dem **Vergleiche-Icon** für eine **OSM-route_master**-Relation führt zu dem Vergleich einer GTFS-route versus OSM-route_master. Der Vergleich erfolgt in Tabelleform mit so genannten **score**-Werten für jede Kombination GTFS-trip/OSM-route: je kleiner der **score**-Wert, desto besser die Übereinstimmung der beiden Datensätze. Ist ein **score**-Wert in fetter Schrift abgebildet, so stimmen *gtfs:feed* und *gtfs:trip_id:sample* in der OSM-route-Relation mit der GTFS-trip_id überein (Abbildung 11).

Compare GTFS route with OSM route_master																																																																						
General information																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>type</th><th>links</th><th>id</th><th>ref</th><th>feed</th><th>release date</th><th>members</th><th colspan="2"></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rows: GTFS route</td><td></td><td>mvv-19-214-1</td><td>214</td><td>DE-BY-MVV</td><td>latest</td><td>GTFS trips of GTFS route</td><td colspan="2"></td></tr> <tr> <td>Columns: OSM route_master</td><td></td><td></td><td></td><td>4280997</td><td>214</td><td>OSM routes of OSM route_master</td><td colspan="2" rowspan="3"></td></tr> </tbody> </table>									type	links	id	ref	feed	release date	members			Rows: GTFS route		mvv-19-214-1	214	DE-BY-MVV	latest	GTFS trips of GTFS route			Columns: OSM route_master				4280997	214	OSM routes of OSM route_master																																					
type	links	id	ref	feed	release date	members																																																																
Rows: GTFS route		mvv-19-214-1	214	DE-BY-MVV	latest	GTFS trips of GTFS route																																																																
Columns: OSM route_master				4280997	214	OSM routes of OSM route_master																																																																
Mismatch Score Table																																																																						
<p>Small values indicate a good match between GTFS trip and OSM route/GTFS trip. For a more detailed comparison, click on a number.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Select rows where all scores >= x %</th><th>30</th><th><input checked="" type="radio"/> Add to selection</th><th><input type="radio"/> Replace selection</th><th colspan="5"></th></tr> <tr> <th>Show all</th><th>Hide selected</th><th>Clear selections</th><th colspan="5">OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'</th></tr> <tr> <th>11Num</th><th>11Rides</th><th>11GTFS trips</th><th colspan="2">11 Eugen-Sänger-Ring => 12 platforms => Ottobrunn (S)</th><th colspan="2">11 Hubertusstraße => 18 platforms => Riemerling, Altenheim</th><th colspan="2">11 Ottobrunn (S) => 12 platforms => Eugen-Sänger-Ring</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td>1</td><td>212</td><td>Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring => 12 stops => Ottobrunn</td><td></td><td>0.22%</td><td>39.53%</td><td>42.38%</td><td>51.72%</td></tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td>2</td><td>1464</td><td>Hohenbrunn, Hubertusstraße => 18 stops => Riemerling, Altenheim</td><td></td><td>44.16%</td><td>0.16%</td><td>57.50%</td><td>45.53%</td></tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td>3</td><td>159</td><td>Ottobrunn => 12 stops => Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring</td><td></td><td>42.38%</td><td>52.81%</td><td>0.66%</td><td>50.13%</td></tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td>4</td><td>1581</td><td>Riemerling, Altenheim => 20 stops => Hohenbrunn, Hubertusstraße</td><td></td><td>57.19%</td><td>46.94%</td><td>55.75%</td><td>0.44%</td></tr> </tbody> </table>									Select rows where all scores >= x %	30	<input checked="" type="radio"/> Add to selection	<input type="radio"/> Replace selection						Show all	Hide selected	Clear selections	OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'					11Num	11Rides	11GTFS trips	11 Eugen-Sänger-Ring => 12 platforms => Ottobrunn (S)		11 Hubertusstraße => 18 platforms => Riemerling, Altenheim		11 Ottobrunn (S) => 12 platforms => Eugen-Sänger-Ring		<input type="checkbox"/>	1	212	Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring => 12 stops => Ottobrunn		0.22%	39.53%	42.38%	51.72%	<input type="checkbox"/>	2	1464	Hohenbrunn, Hubertusstraße => 18 stops => Riemerling, Altenheim		44.16%	0.16%	57.50%	45.53%	<input type="checkbox"/>	3	159	Ottobrunn => 12 stops => Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring		42.38%	52.81%	0.66%	50.13%	<input type="checkbox"/>	4	1581	Riemerling, Altenheim => 20 stops => Hohenbrunn, Hubertusstraße		57.19%	46.94%	55.75%	0.44%
Select rows where all scores >= x %	30	<input checked="" type="radio"/> Add to selection	<input type="radio"/> Replace selection																																																																			
Show all	Hide selected	Clear selections	OSM routes - <input type="checkbox"/> Show OSM route 'name'																																																																			
11Num	11Rides	11GTFS trips	11 Eugen-Sänger-Ring => 12 platforms => Ottobrunn (S)		11 Hubertusstraße => 18 platforms => Riemerling, Altenheim		11 Ottobrunn (S) => 12 platforms => Eugen-Sänger-Ring																																																															
<input type="checkbox"/>	1	212	Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring => 12 stops => Ottobrunn		0.22%	39.53%	42.38%	51.72%																																																														
<input type="checkbox"/>	2	1464	Hohenbrunn, Hubertusstraße => 18 stops => Riemerling, Altenheim		44.16%	0.16%	57.50%	45.53%																																																														
<input type="checkbox"/>	3	159	Ottobrunn => 12 stops => Brunnthal, Eugen-Sänger-Ring		42.38%	52.81%	0.66%	50.13%																																																														
<input type="checkbox"/>	4	1581	Riemerling, Altenheim => 20 stops => Hohenbrunn, Hubertusstraße		57.19%	46.94%	55.75%	0.44%																																																														

Abbildung 11: Vergleich von GTFS-route mit OSM-route_master mit **score**-Tabelle

Ein Klick auf einen **score**-Wert führt zum Vergleich eines GTFS-trips mit einer OSM-route (nächster Abschnitt).

Vergleich von GTFS-trip- mit OSM-route-Daten

Der Link bei dem **Vergleiche-Icon** für eine **OSM-route**-Relation führt zu dem Vergleich GTFS-trip versus OSM-route. Der Vergleich erfolgt auf einer Karte und in Tabellenform mit den **score**-Werten für einzelne Metriken: je kleiner der **score**-Wert, desto besser die Übereinstimmung.

Die Metriken basieren auf Eigenschaften von Haltestellen: Anzahl, Position, Entfernung, Namen, ID, ... Shapes spielen keine Rolle, sie sind häufig nicht enthalten, mitunter fehlerhaft und schwer zu vergleichen (häufig: false positives).

Beim Scrollen nach unten wird ein Vergleich der Haltestellen in Tabellenform sichtbar.

Abbildungen 12 und 13 zeigen einen **positiven Fall**, wo die Übereinstimmung sehr gut ist. Lediglich die Positionen einer Haltestelle stimmt nicht gut überein: OSM ist hier richtig.

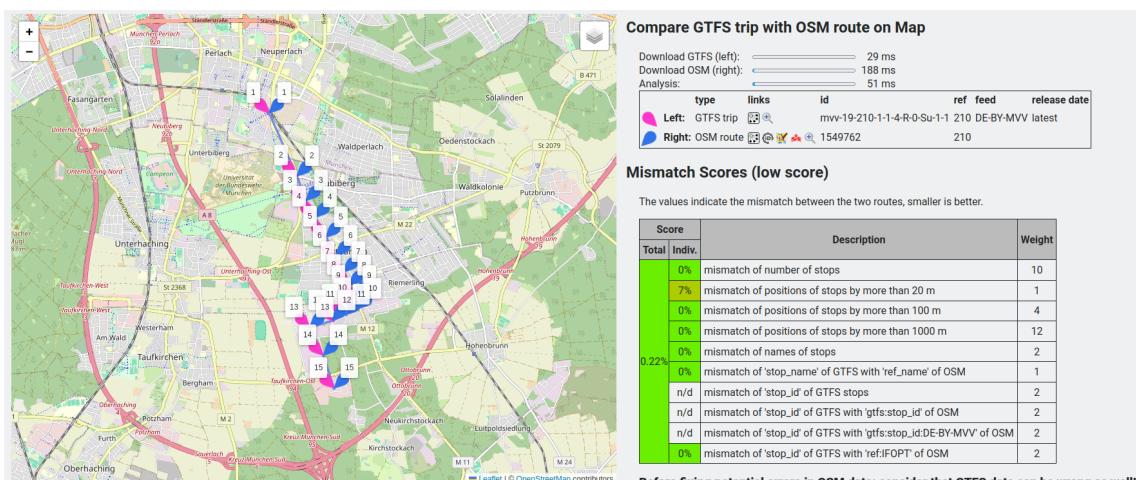


Abbildung 12: Vergleich von GTFS-trip mit OSM-route auf Karte und score-Tabelle: positiv

Compare GTFS trip with OSM route side-by-side (stops/platforms)											
Stop Number	Stop data of GTFS trip mvv-19-210-1-1-4-R-0-Su-1-1			Distance [m]	Platform data of OSM route 1549762					Platform Number	Edit with
	stop_id	stop_lat	stop_lon	stop_name	name	ref_name	lat	lon	ref:IFOPT		
1	de:09162:1010:5:48.08947	11.64406		Neuperlach Süd	◀ 1 ► Neuperlach Süd		48.08946	11.64405	de:09162:1010:5:5	1	
2	de:09184:2302:0:3	48.07826	11.65148	Neubiberg, Werner-Heisenberg-Weg	◀ 4 ► Werner-Heisenberg-Weg	Werner-Heisenberg-Weg, Neubiberg	48.07824	11.65143	de:09184:2302:0:3	2	
3	de:09184:2189:0:2	48.07899	11.65392	Ottobrunn, Alte Landstraße	◀ 1 ► Alte Landstraße	Alte Landstraße, Ottobrunn	48.07387	11.65391	de:09184:2189:0:2	3	
4	de:09184:2236:0:2	48.07095	11.65627	Ottobrunn, Bahnhofstraße	◀ 4 ► Bahnhofstraße	Bahnhofstraße, Ottobrunn	48.07091	11.65628	de:09184:2236:0:2	4	
5	de:09184:2235:0:2	48.06738	11.65917	Ottobrunn, Jahnstraße	◀ 10 ► Jahnstraße	Jahnstraße, Ottobrunn	48.06730	11.65924	de:09184:2235:0:2	5	
6	de:09184:2238:3:2	48.06392	11.66175	Ottobrunn, Ortsmitte	◀ 5 ► Ottobrunn, Ortsmitte	Ortsmitte, Ottobrunn	48.06397	11.66174	de:09184:2238:3:2	6	
7	de:09184:2242:0:2	48.06108	11.66386	Ottobrunn, Hubertusstraße	◀ 1 ► Hubertusstraße	Hubertusstraße, Ottobrunn	48.06109	11.66385	de:09184:2242:0:2	7	
8	de:09184:2192:3:2	48.05876	11.66551	Ottobrunn, Ottostraße	◀ 2 ► Ottostraße	Ottostraße, Ottobrunn	48.05874	11.66550	de:09184:2192:3:2	8	
9	de:09184:2196:0:1	48.05684	11.66688	Ottobrunn, Finkenstraße	◀ 0 ► Finkenstraße	Finkenstraße, Ottobrunn	48.05684	11.66688	de:09184:2196:0:1	9	
10	de:09184:2203:0:1	48.05463	11.66774	Ottobrunn, Robert-Koch-Straße	◀ 11 ► Robert-Koch-Straße	Robert-Koch-Straße, Ottobrunn	48.05460	11.66760	de:09184:2203:0:1	10	
11	de:09184:2247:0:2	48.05355	11.66458	Ottobrunn, Röntgenstraße	◀ 2 ► Röntgenstraße	Röntgenstraße, Ottobrunn	48.05354	11.66456	de:09184:2247:0:2	11	
12	de:09184:2245:0:2	48.05252	11.66115	Ottobrunn, Einsteinstraße	◀ 23 ► Einsteinstraße	Einsteinstraße, Ottobrunn	48.05250	11.66084	de:09184:2245:0:2	12	
13	de:09184:2389:0:3	48.05128	11.65496	Taufkirchen, Lilienthalstraße	◀ 3 ► Lilienthalstraße	Lilienthalstraße, Taufkirchen	48.05126	11.65495	de:09184:2389:0:3	13	
14	de:09184:2437:0:1	48.04629	11.65860	Taufkirchen, Willy-Messerschmitt-Straße	◀ 3 ► Willy-Messerschmitt-Straße	Willy-Messerschmitt-Straße, Taufkirchen	48.04630	11.65858	de:09184:2437:0:1	14	
15	de:09184:2315:0:1	48.04050	11.66141	Brunthal, Zusestraße	◀ 8 ► Zusestraße	Zusestraße, Brunthal	48.04043	11.66144	de:09184:2315:0:1	15	

Abbildung 13: Vergleich von GTFS-trip mit OSM-route mit Haltestellen-Tabelle: positiv

PTNA: Qualitätssicherung für ÖPNV-Linien in OpenStreetMap

Abbildungen 14 und 15 zeigen einen **negativen Fall**, wo die Übereinstimmung schlecht ist. Der **score** ist 22.06%. Der GTFS-trip stellt bezüglich Stops 6 und 7 die Werktagsvariante bis ca. 20:30 dar, die OSM-route stellt bezüglich Haltestelle 6 die Abend- und Sonntagsvariante dar (fährt nicht durch das Gewerbegebiet).

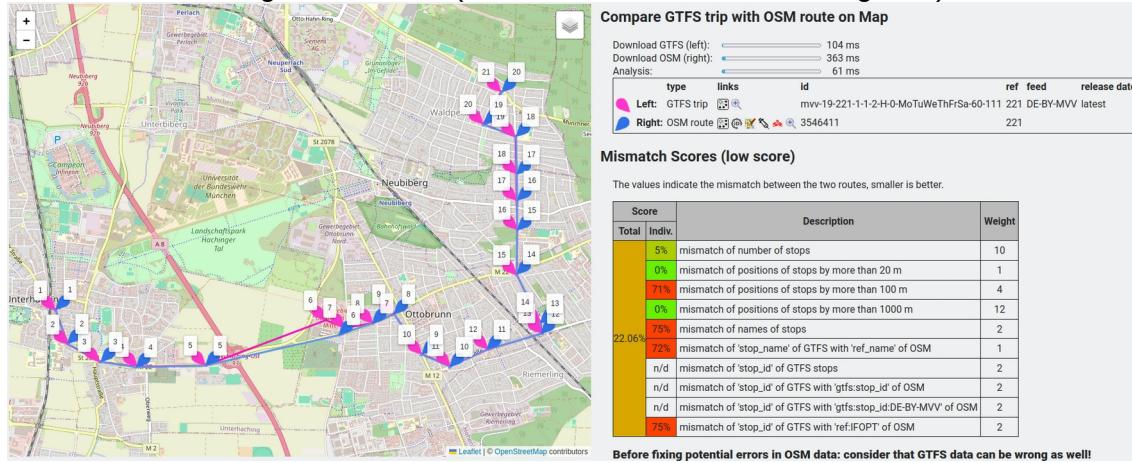


Abbildung 14: Vergleich GTFS-trip (werktags) mit OSM-route (abends, sonntags): Karte/Scores

Compare GTFS trip with OSM route side-by-side (stops/platforms)					
Stop Number	Stop data of GTFS trip [m] mvv-19-221-1-1-2-H-0-MoTuWeThFrSa-60-111			Distance [m]	
	stop_id	stop_lat	stop_lon		
1	de:09184:2310:1	48.06520	11.61318	Unterhaching	◀ 3 ► Unterhaching (S)
2	de:09184:2366:0:1	48.06204	11.61489	Unterhaching, Jahnstraße	◀ 11 ► Jahnstraße
3	de:09184:2368:0:1	48.06044	11.61926	Unterhaching, Ottobrunner Straße	◀ 11 ► Ottobrunner Straße
4	de:09184:2378:0:1	48.05995	11.62448	Unterhaching, Friedhof	◀ 16 ► Friedhof
5	de:09184:2365:0:1	48.06004	11.63392	Unterhaching, Kirchlandweg	◀ 0 ► Kirchlandweg
6	de:09184:2206:0:1	48.06428	11.65058	Ottobrunn, Siemensstraße	◀ 204 ► Daimlerstraße
7	de:09184:2380:1:1	48.06355	11.65324	Ottobrunn, Daimlerstraße	◀ 285 ► Lindenstraße
8	de:09184:2239:0:1	48.06399	11.65709	Ottobrunn, Lindenstraße	◀ 237 ► Ottobrunn, Ortsmitte
9	de:09184:2238:2:3	48.06484	11.66005	Ottobrunn, Ortsmitte	◀ 504 ► Hubertusstraße
10	de:09184:2242:0:2	48.06108	11.66386	Ottobrunn, Hubertusstraße	◀ 313 ► Friedrich-Ebert-Platz
11	de:09184:2281:1:1	48.06001	11.66786	Ottobrunn, Friedrich-Ebert-Platz	◀ 409 ► Hans-Kandler-Weg
12	de:09184:2190:0:1	48.06198	11.67303	Ottobrunn, Hans-Kandler-Weg	◀ 566 ► Ottobrunn (S)
13	de:09184:2210:1:1	48.06305	11.68055	Ottobrunn	◀ 106 ► Karl-Stieler-Straße
14	de:09184:2188:1:1	48.06409	11.68024	Ottobrunn, Karl-Stieler-Straße	◀ 545 ► Am Bruneck/Uhländstraße
15	de:09184:2187:0:1	48.06847	11.67701	Ottobrunn, Am Bruneck/Uhländstraße	◀ 456 ► Neubiberg, Gymnasium
16	de:09184:2278:0:1	48.07261	11.67709	Neubiberg, Gymnasium	◀ 300 ► Walkürenstraße
17	de:09184:2275:0:1	48.07534	11.67705	Neubiberg, Walkürenstraße	◀ 266 ► Brunhildenstraße
18	de:09184:2290:0:2	48.07781	11.67701	Neubiberg, Brunhildenstraße	◀ 382 ► Salzmannstraße
19	de:09162:968:3:SA1:1	48.08128	11.67688	Salzmannstraße	◀ 350 ► Waldperlach
20	de:09162:967:1:1	48.08237	11.67239	Waldperlach	◀ 383 ► Waldheimplatz
21	de:09162:966:5:6	48.08538	11.67486	Waldheimplatz	◀ 8 ► Waldheimplatz

Abbildung 15: Vergleich GTFS-trip (werktags) mit OSM-route (abends, sonntags): Tabelle

Icons und ihre Bedeutung

Auf den Seiten des PTNA-Reports und der GTFS-/OSM-Vergleiche sind diverse Icons zu sehen. Diese führen entweder zu weiteren Informationen oder laden relevante Daten in OSM-Editoren, wo eine Bearbeitung erfolgen kann.

-  Ein Klick führt zum Vergleich von GTFS- mit OSM-Daten. Auf der Übersichtsseite für GTFS-feeds führt es zum GTFS- versus GTFS-Vergleich.
-  Lade die OSM Daten des Objektes (Relation, Way oder Node) in den **JOSM**-Editor.
-  Mit Hilfe des **JOSM**-Editors werden Daten (key, value) in die OSM-*route_master/route*-Relation injiziert. Mouseover zeigt an, welche Daten das sind.
-  Lade die OSM-Daten (Relation, Way, Node) in den **iD**-Editor
-  Lade die OSM-*route*-Relation in den **Relatify**-Editor
-  Der angezeigte Name wurde „Normalisiert“. Mouseover zeigt den Originalnamen.
-  Zeige eine Kurzinformationen der Objektdaten in einem Pop-Up-Fenster.
-  Der angezeigte GTFS-*trip* stellt eine Teilroute (sub-route) mindestens eines anderen GTFS-*trips* dar. Mouseover zeigt an, welcher das ist.
-  Der angezeigte GTFS-*trip* hat verdächtige Merkmale. Mouseover zeigt an, welche das sind.
-  Der angezeigte GTFS-*trip* hat nur zwei Haltestellen.
-  Der angezeigte GTFS-*trip* ist nahezu identisch mit mindestens einem anderen GTFS-*trip*. Mouseover zeigt an, welcher das ist.
-  Das Objekt ist ein Punkt (OSM: node)
Ein Klick auf das Icon bzw. die ID führt zu <https://osm.org/node/...>
-  Das Objekt ist eine Strecke (OSM: way)
Ein Klick auf das Icon bzw. die ID führt zu <https://osm.org/way/...>
-  Das Objekt ist eine Sammlung (GTFS: route, trip; OSM: relation)
GTFS : ein Klick führt zur Übersicht von route bzw. trip.
OSM : ein Klick auf das Icon bzw. die ID führt zu <https://osm.org/relation/...>
-  Diese Zeichen im Tabellenkopf einer Spalte erlauben eine Sortierung der Tabelle nach dieser Spalte: nicht nach dieser Spalte sortiert, aufsteigend, absteigend

Was gibt's noch zu sagen?

Auf die Angabe von Beispielen mit IDs von realen GTFS- oder OSM-Daten wird hier bewusst verzichtet. Diese können bis zum Zeitpunkt der Konferenz schon wieder veraltet sein.

Als maximale akzeptable Distanz zwischen GTFS-*stop* und zugehöriger OSM-*platform* wurden 20 Meter gewählt. Das entspricht etwa der Länge eines Gelenkbusses (18 m) und erlaubt dennoch das Erkennen von falschen Bussteigen in Busbahnhöfen. Beim Vergleich lassen sich gleichwohl alle „Distanz-Werte“ und „Gewichtungen“ GTFS-feed-spezifisch konfigurieren.

Über das Vergleiche-Icon in der letzten Spalte der Tabelle einer Länderspezifischen GTFS-Übersicht (Beispiel: DE [10]) lässt sich ein Vergleich GTFS versus GTFS anstoßen, z.B.: was hat sich zwischen zwei GTFS-Versionen geändert?

Im PTNA-Report gibt es am Anfang unter „Datum der Daten“ einen Button „**Start einer neuen Analyse anfordern**“. Man muss nicht mehr auf den nächtlichen Start (zwischen 02:00-05:00 Ortszeit der zu analysierenden Region) des PTNA-Reports warten. Ein Cron-Job schaut alle 15 Minuten nach solchen Anforderung und startet diese.

Die Protokolle und Ergebnisse aller automatisierten Aktivitäten von PTNA sind über die „**Statistik**“-Seite [11] (vor allem für den Autor selbst) erreichbar.

Ausblick / Ideen:

- Weiterführung der Umstellung des OSM-Daten-Downloads von Overpass API [] zu Planet-Dumps/Updates/Extracts []
 - 109 Analysen sind umgestellt, 244 Konfigurationen müssen noch angepasst werden
- Ausgabe der Ergebnisse (score-Werte) des Vergleichs von GTFS- und OSM-Daten im PTNA-Report
 - basierend auf den CSV-Daten im OSM-Wiki
 - basierend auf den *gtfs:** tags in den OSM-Relationen
 - Portieren von > 1000 Lines-of-Code von JavaScript nach Perl
- Einbau einer „sidebar“, über die Fehlermeldung (Kategorien) im PTNA-Report ein- und ausgeblendet werden können
 - Analog zu KeepRight [12] und PTS [13]
- Erweiterung von Statistiken
 - Entwicklung der Anzahl Fehler einer Kategorie über einen Zeitraum
- Re-Design des sqlite3-Datenbankschemas für GTFS-Daten
 - man lernt nie aus
- Bei der PTNA-Analyse (7) einer OSM-route-Relation könnte man einen Prüfung auf Lücken und falsche Sortierung bei den Ways einbauen
 - Analog zum Relations-Editor in JOSM
 - Portieren von 600-1000 Lines-of-Code in Perl nach JavaScript

Anhang

Kontakt zum Autor:

Antonius „Toni“ Erdmann
Friedenstraße 21
D-85521 Ottobrunn
osm-ToniE@web.de

Community: „PTNA: news for Public Transport Network Analysis“ [14]
GitHub: PTNA-Komponenten [15]

Literatur:

- [1] „PTNA“, „Public Transport Network Analysis“, <https://ptna.openstreetmap.de>
- [2] „PTNA: Qualitätssicherung für ÖPNV in OpenStreetMap“, Toni Erdmann, FOSSGIS 2020 Tagungsband, Seite 109, https://www.fossgis-konferenz.de/2020/data/FOSSGIS_Tagungsband_2020.pdf
- [3] „GTFS“, "General Transit Feed Specification", <https://gtfs.org/>
- [4] „GTFS reference“, <https://gtfs.org/documentation/schedule/reference/>
- [5] „GTFS best practices“, <https://gtfs.org/documentation/schedule/schedule-best-practices/>
- [6] „OSM contributors“, <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Contributors>
- [7] „Proposal:Public Transport“, approved version “PTv2”, https://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Proposed_features/Public_Transport&oldid=625726
- [8] „Codes for identifying the principal subdivisions (e.g., provinces or states) of all countries coded in ISO 3166-1“, https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_3166-2
- [9] „GTFS“, Spezifikation der gtfs:* tags im OSM-Wiki, <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/GTFS>
- [10] Übersicht über die von PTNA analysierten GTFS-feeds in Deutschland, <https://ptna.openstreetmap.de/gtfs/DE/index.php>
- [11] Statistiken und Logging von PTNA, <https://ptna.openstreetmap.de/en/statistics.php>
- [12] „KeepRight“, https://keepright.at/report_map.php?lang=de
- [13] „PTSA“, „Public Transport Stop Analysis“, <https://gauss.whz.de/pts/#3/50.72/12.50>
- [14] OpenStreetMap Community Forum, „PTNA: news for Public Transport Network Analysis“: <https://c.osm.org/t/ptna-news-for-public-transport-network-analysis/8383/>
- [15] GitHub-URL für PTNAs Komponenten, <https://github.com/osm-ToniE>