

# Bevorzugter Zitierstil für diesen Vortrag

---

Keller, Peter, (2016)

Ermittlung der Anbindungszeiten für das Verkehrsmodell der  
SBB innerhalb der Schweiz,  
DAS Verkehrsingenieurwesen 2013-2015  
Abschlusspräsentationen, Zürich, Februar 2016.



# Ermittlung der Anbindungszeiten für das Verkehrsmodell der SBB innerhalb der Schweiz

Peter Keller

IVT  
ETH  
Zürich

Februar 2016

 Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme  
Institute for Transport Planning and Systems

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Aufgabe

---

## Aufgabe:

- Es soll ein Verfahren gefunden werden mit dem auf einfache und nachvollziehbare Art- und Weise die Anbindungszeiten für das Modell der SBB zu bestimmt werden können.

## Motivation

- Die Anbindungen spielen im SBB Modell bei der Umlegung keine grosse Rolle. Bei der Berechnung der zukünftigen Nachfrage fliessen sie jedoch in die Reisezeit ein. Deshalb sind sie insbesondere für Relationen mit kurzen Wegen relevant.
- Es ist den heutigen Mitarbeitern nicht bekannt, wie die Anbindungszeiten im aktuellen Modell bestimmt wurden.

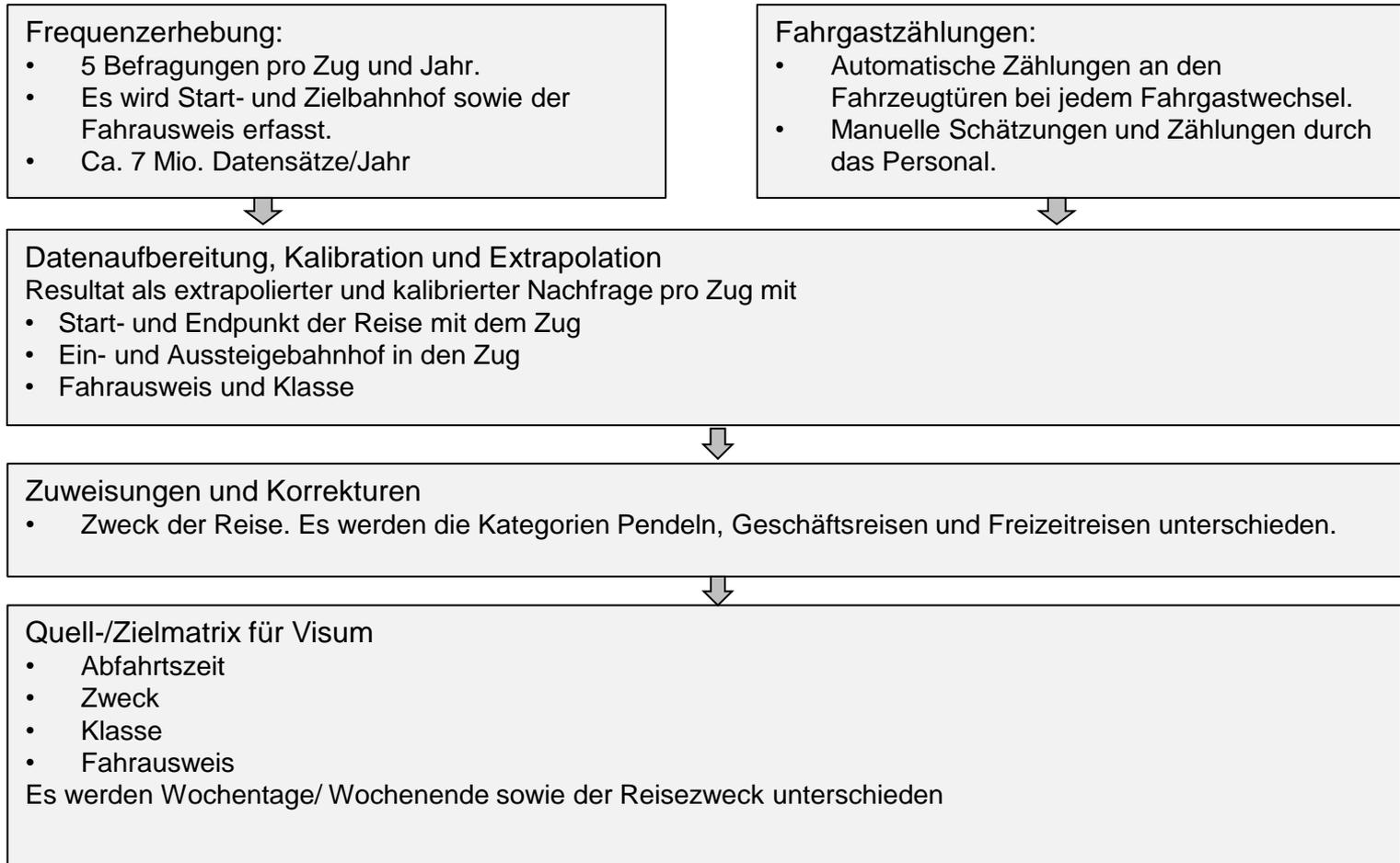
# Das Verkehrsmodell der SBB

---

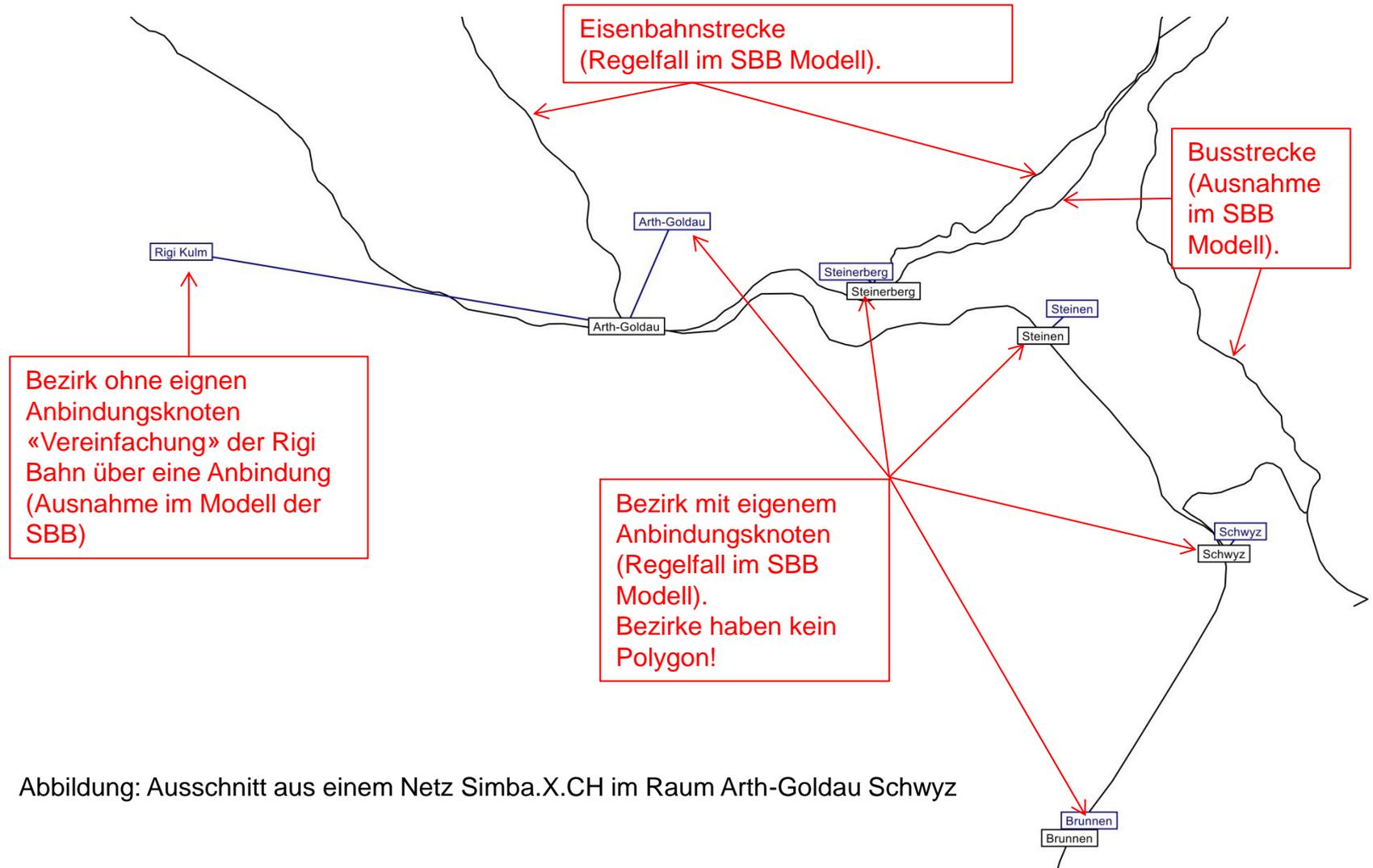
- Ziel: Referenzzustände verwenden für die Beurteilung von Angebotskonzepten in der Zukunft. Beurteilung von Infrastruktur-, Rollmaterial- und Finanzbedarf.
- Bestandteile: SIMBA (Standardisierte integrierte Modellierung und Bewertung von Angebotskonzepten) besteht im Kern aus vier Visum Modellen [1]:
  - SIMBA.Modell.EU : Ist-Modell mit Fokus Europa
  - SIMBA.Modell.CH : Ist-Modell mit Fokus Schweiz
  - SIMBA.Prognose.EU : Prognosemodell mit Fokus Europa
  - SIMBA.Prognose.CH : Prognosemodell mit Fokus Schweiz
- Geographischer Scope der .CH Modelle: Grossteil der Eisenbahnnetze in der Schweiz (SBB und gewisser Privatbahnen wie BLS, RhB, SOB). Bus- und andere Verkehre als Ausnahme.
- Das Angebot wird fahrplanscharf entweder gemäss dem tatsächlich Fahrplan oder in einer vereinfachten schematisierten Form (Takt bis in die Randstunden) abgebildet.
- In den letzten Jahren wurde viel investiert um die Dynamik der Verkehrs über den Tagesverlauf abzubilden.

# Spezialfall: Ermitteln der Quell-/Zielmatrizen

- Die sogenannte Frequenzerhebung und Fahrgastzählungen bilden die Grundlage für die Quell-/Zielmatrizen im Visum [2].

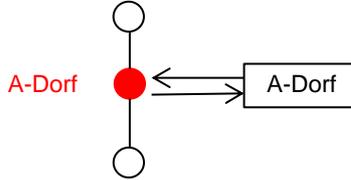


# Knoten, Anbindungen und Bezirke im Verkehrsmodell

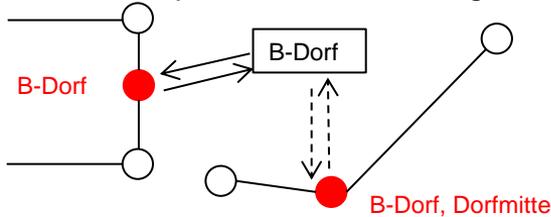


# Arten der Anbindung im SBB Modell

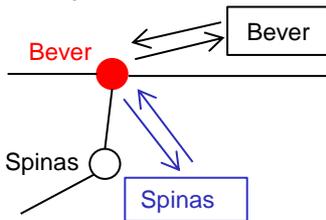
Fiktives Beispiel des häufigsten «Standard» Falles:



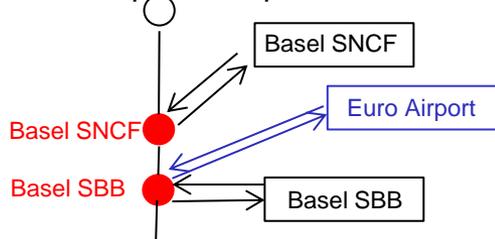
Fiktives Beispiel mit dem Fall «Ergänzung Bus»:



Beispiel Haltestelle ohne eigenen Anbindungsknoten :



Komplexeres Beispiel mit Spezialfällen :

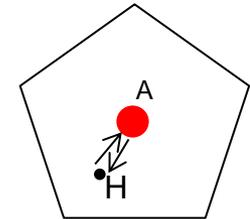


Legende:

- Übrige Knoten
- Anbindungsknoten
- Bezirk der den Anbindungsknoten repräsentiert (Anbindungsknotenbezirk)
- ↔ Quell- und Zielanbindung für Anbindungsknotenbezirk
- ⇌ Zusätzliche Quell- und Zielanbindung für Anbindungsknotenbezirk
- Bezirk der eine ÖV Haltestelle repräsentiert ohne eigenen Anbindungsknoten.
- ↔ Quell- und Zielanbindung für Bezirk ohne eigenen Anbindungsknoten.

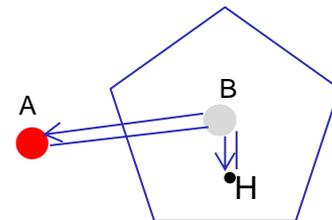
Interpretation Anbindungszeit bei einem Anbindungsknotenbezirk:

$$t_{QZ-Anbindung} = \frac{t_{HA} + t_{AH} + t_{StwA}}{2}$$



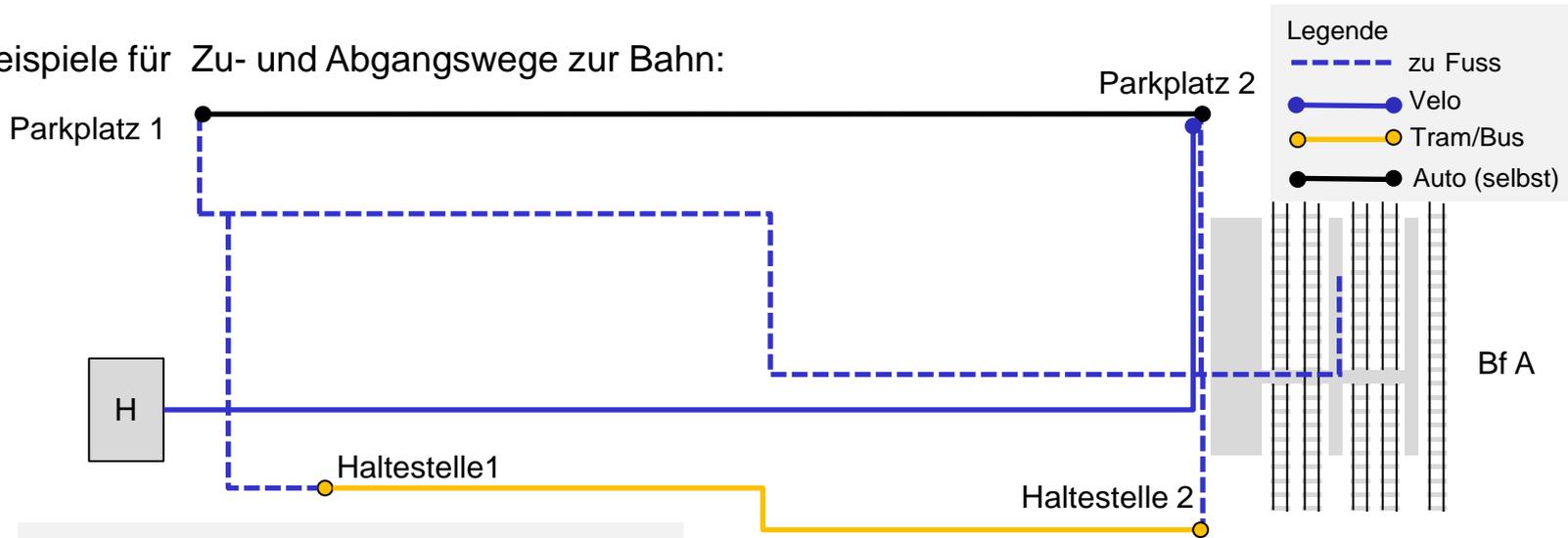
Interpretation Anbindungszeit bei einem Bezirk ohne eigenen Anbindungsknoten im Bezirk:

$$t_{QZ-Anbindung} = \frac{t_{HB} + t_{BH} + t_{SwB}}{2} + \frac{t_{AB} + t_{BA} + t_{SwA}}{2}$$



# Anbindungen bei unvollständigem Netz

Beispiele für Zu- und Abgangswege zur Bahn:

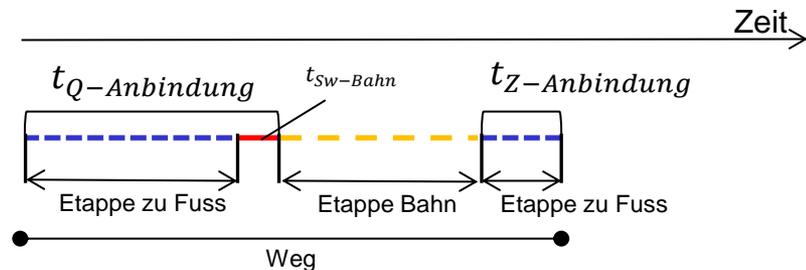


Da nur das Bahnnetz abgebildet ist, werden alle der Bahn vor- oder nachgelagerten Etappen in den Anbindungen zusammengefasst.

Typischerweise sind dies einzelne Etappen oder Kombinationen aus Etappen des Typs:

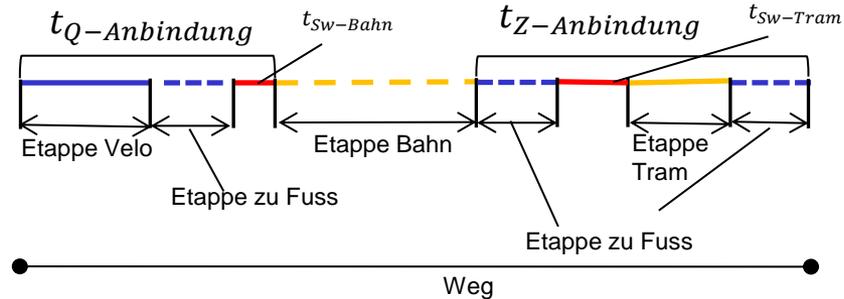
- zu Fuss
- Velo
- Tram, Bus oder Postauto
- Auto als Fahrer oder Beifahrer

Beispiel: Bahnfahrt mit allen Anbindungen zu Fuss

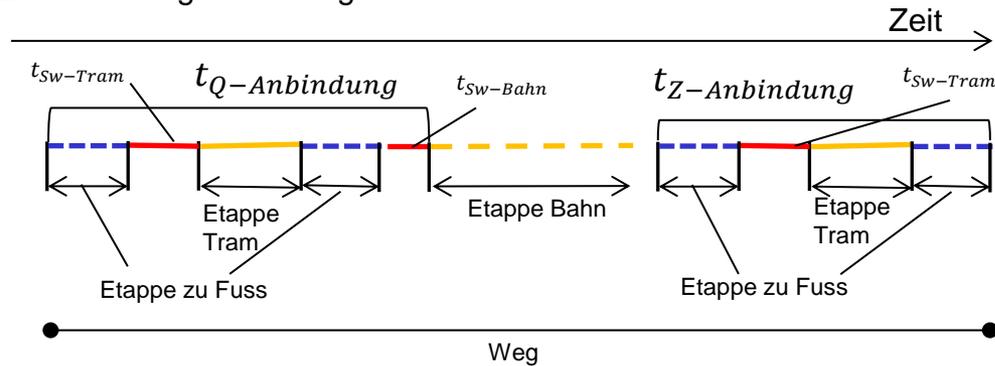


# Anbindung: Varianten bei unvollständigem Netz

Beispiel: Bahnfahrt mit Quell-Anbindungen mit dem Fahrrad und Zielanbindung mit dem Tram



Beispiel: Bahnfahrt mit Quell- und Zielanbindung Anbindungen mit dem Tram



Die erste Startwartezeit ist abhängig von der längsten Taktdauer innerhalb eines Weges (einplanen von Sicherheit z.B. in städtischen Systemen um nicht zu spät auf den Zug zu kommen (auch nach [3])).

# Vorschlag für die Berechnung nach Galster [3]

Fall analog der SBB:

ÖV-Angebot komplett	<input type="checkbox"/>	
Streckennetz komplett	<input type="checkbox"/>	
Zellengröße klein	<input type="checkbox"/>	
Haltestelle in Zelle	<input checked="" type="checkbox"/>	

Abbildung aus [3]

Grundsätzlich\*

$$t_{QA} = t_{Zu} + t_{Sw} + t_{Un}$$

$$t_{ZA} = t_{Un} + t_{Ab}$$

$$t_{Zu/Ab} = 4.5 \text{ min}$$

$$t_{sw} = 0,7h^{0.64}$$

$$h = \text{Takt [min]}$$

$$\text{für } h \geq 40 = 7.42 \text{ min}$$

$$t_{Un} = 8.37 \sqrt{\frac{F_Z}{2 \cdot \pi \cdot n}}^{0.54}$$

$F_Z$ : Fläche Bezirk in  $[km^2]$

$n$ : Anzahl Bahnhöfe

\* Annahme: Umsteigevorgang vom nichtmodellierten Streckennetz ins modellierte Streckennetz ist auf der Haltestelle abgebildet (nicht so im SBB Modell). Alle Bahnhöfe im Bezirk erhalten die gleichen Anbindungszeiten.

# Methode von Galster / Alternative Methoden

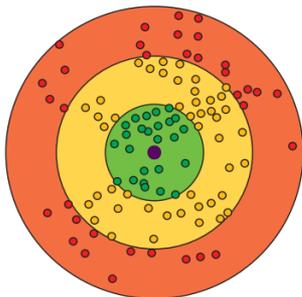
---

## Methode von Galster

- Die Methode scheint gut anwendbar für grössere Bezirke in dem ein Grossteil der Fahrten im untergeordneten Netz stattfindet. Für die Bezirke der SBB ist unklar in welcher Grössenordnung der Zugang zur Bahn zu Fuss erfolgt. Bei grossen Anteilen zu Fuss ist der Ansatz nicht «kalibriert». Grundsätzliche liesse sich jedoch der Anteil direkt zum Bahnhof und Anteil der Anteil zu Fuss separat berechnen.
- Unterschiedliche Strukturen innerhalb der Bezirks-Fläche können nicht direkt berücksichtigt werden.
- Es wird eine definierte Bezirksfläche benötigt.

## Zugang zur Bahn aus Luftliniendistanzen bestimmen.

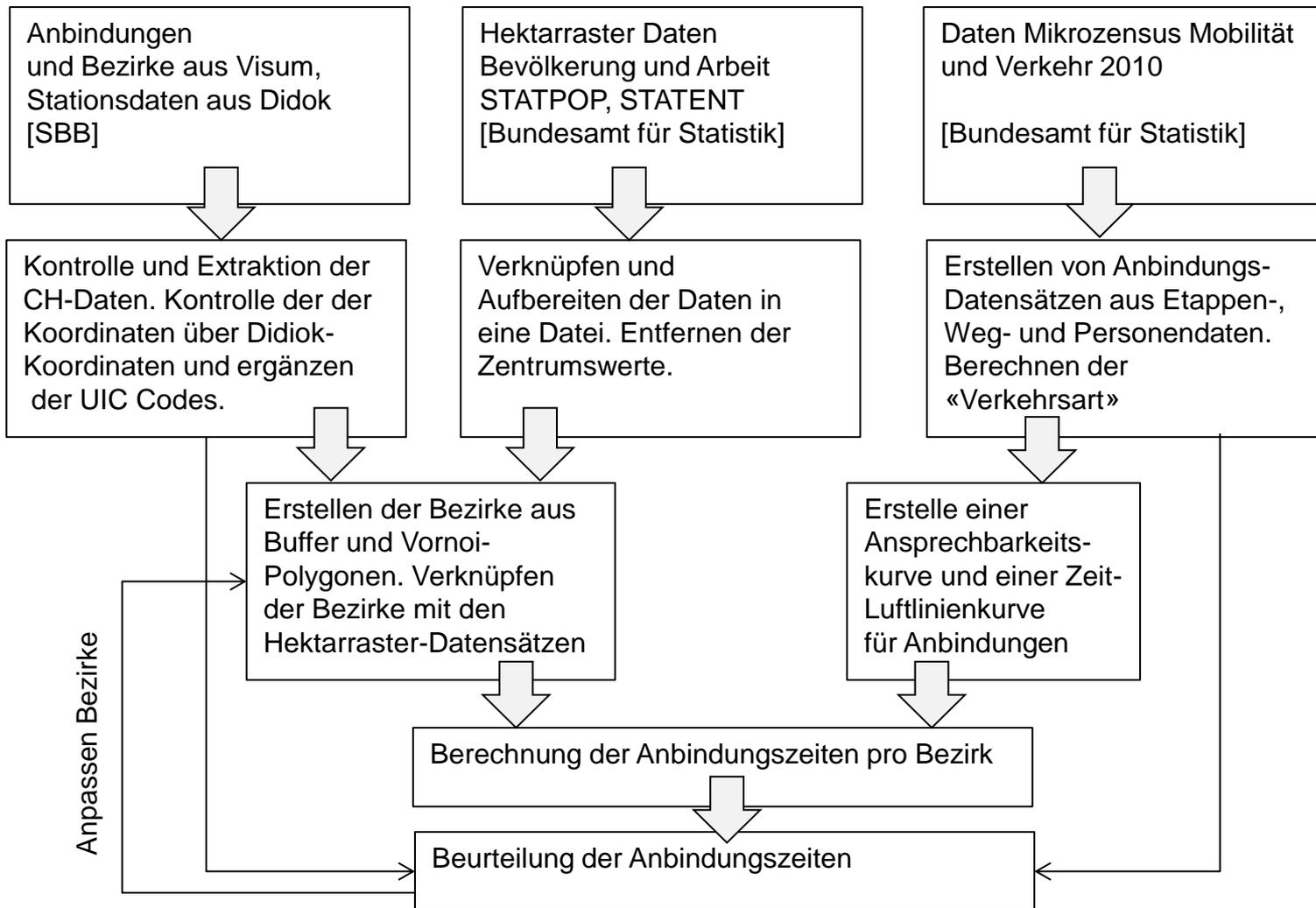
- Die Verteilung der Bevölkerung und der Arbeitsplätze liegen als Hektarraster vor. Damit lassen sich innerhalb eines Bezirkes die Wege zum Bahnhof gewichtet bestimmen.
- Beschrieben ist durch Jermann [4] ein Verfahren als «Ringbuffer Methode». In seiner Dissertation beschreibt Jermann das Thema «Fussweg zum Bahnhof» vertieft und vergleicht unterschiedliche Ansätze.



- Grundlagen für eine Bestimmung der Zeit könnten die Luftliniendistanz, Umwegfaktoren und die Geschwindigkeiten sein.
- Die Distanz zum Bahnhof muss nicht zwingend über Buffer bestimmt werden. Buffer können jedoch dazu dienen einen Bezirk zu bilden.

Abbildung: Ringbuffer aus [4]

# Vorgehen und verwendetet Daten



# Anbindungen aus den empirischen Daten

	Anzahl	Luftliniendistanz [km]			Gesamtdauer [min]		
		Mittelwert	Median	95% Perzentil	Mittelwert	Median	95% Perzentil
Alle	16833	1.37	0.70	4.76	15.7	13	39
Quelle-Bahnhof	8379	1.35	0.69	4.68	18.4	15	42
Bahnhof-Ziel	8454	1.38	0.70	4.86	12.9	10	33
Differenz					5.5	5	

Tabelle Quell- und Zielanbindungen: an Werktagen [eigene Berechnung, Daten: Mikrozensus Verkehr 2010]

	Anzahl	Luftliniendistanz [km]			Gesamtdauer [min]		
		Mittelwert	Median	95% Perzentil	Mittelwert	Median	95% Perzentil
nur Fuss	10067	0.6	0.4	1.4	12.1	10	30
Tram und Bus	4407	2.3	1.6	5.9	22.8	20	44
Velo	896	1.3	1.0	3.0	13.1	11	30
Auto Mitfahrt	489	3.2	1.8	11.0	16.9	15	40
Auto Selbstfahrer	404	4.8	3.4	13.1	19.6	15	47
Übrige	570	3.6	2.6	10.5	24.6	21	52

Tabelle Anbindungen nach Verkehrsart: an Werktagen [eigene Berechnung, Daten: Mikrozensus Verkehr 2010]

# Histogramm der Anbindungen über die Luftliniendistanz

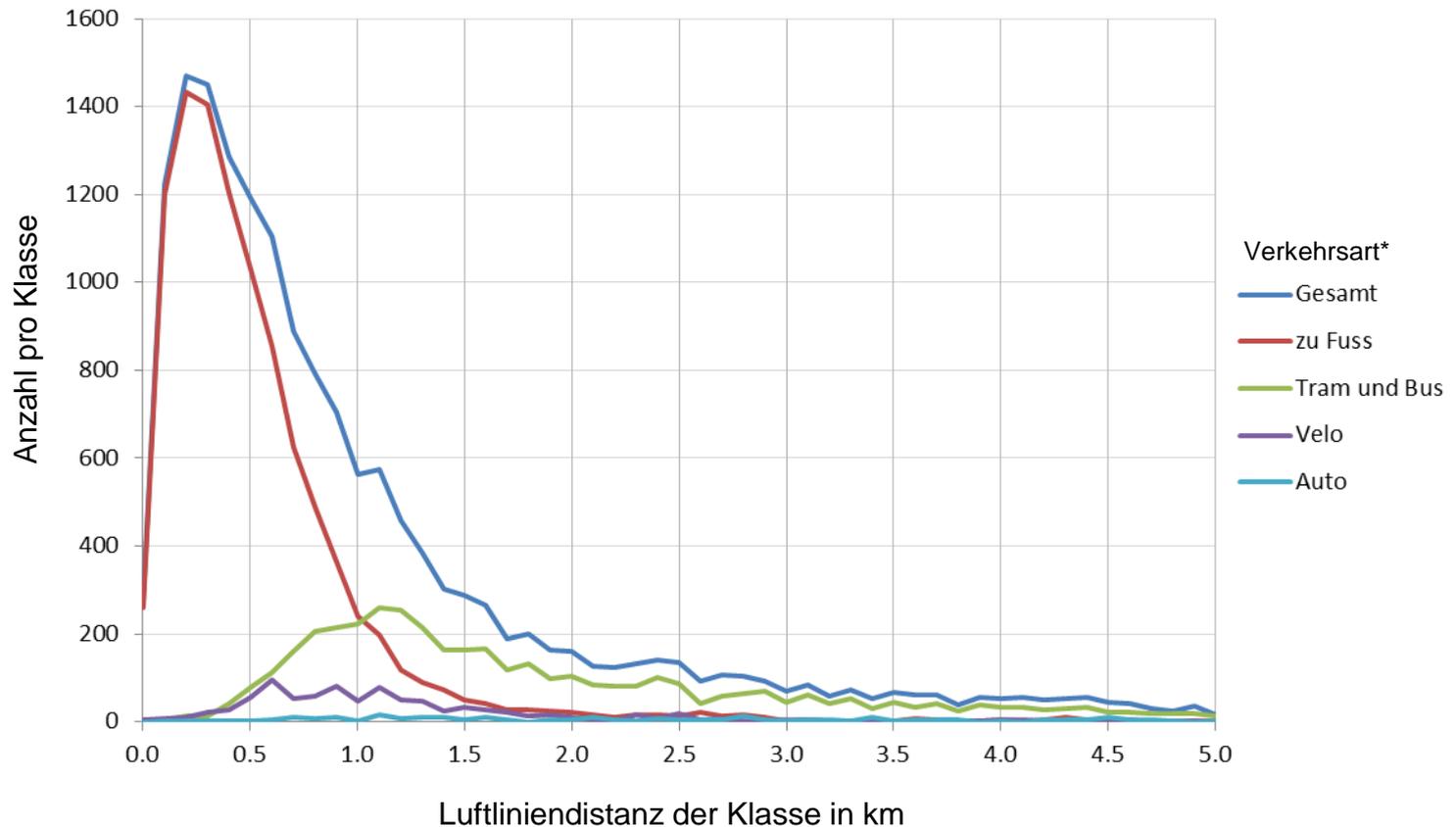


Abbildung: Verteilung der Anbindungen nach Luftliniendistanzklassen von 0.1 km an Werktagen [eigene Darstellung, Daten: Mikrozensus Verkehr 2010]

\*Verkehrsart: Tram und Bus: inkl. Postauto; Auto: Mit- und Selbstfahrer;

# Ansprechbarkeits-Kurve

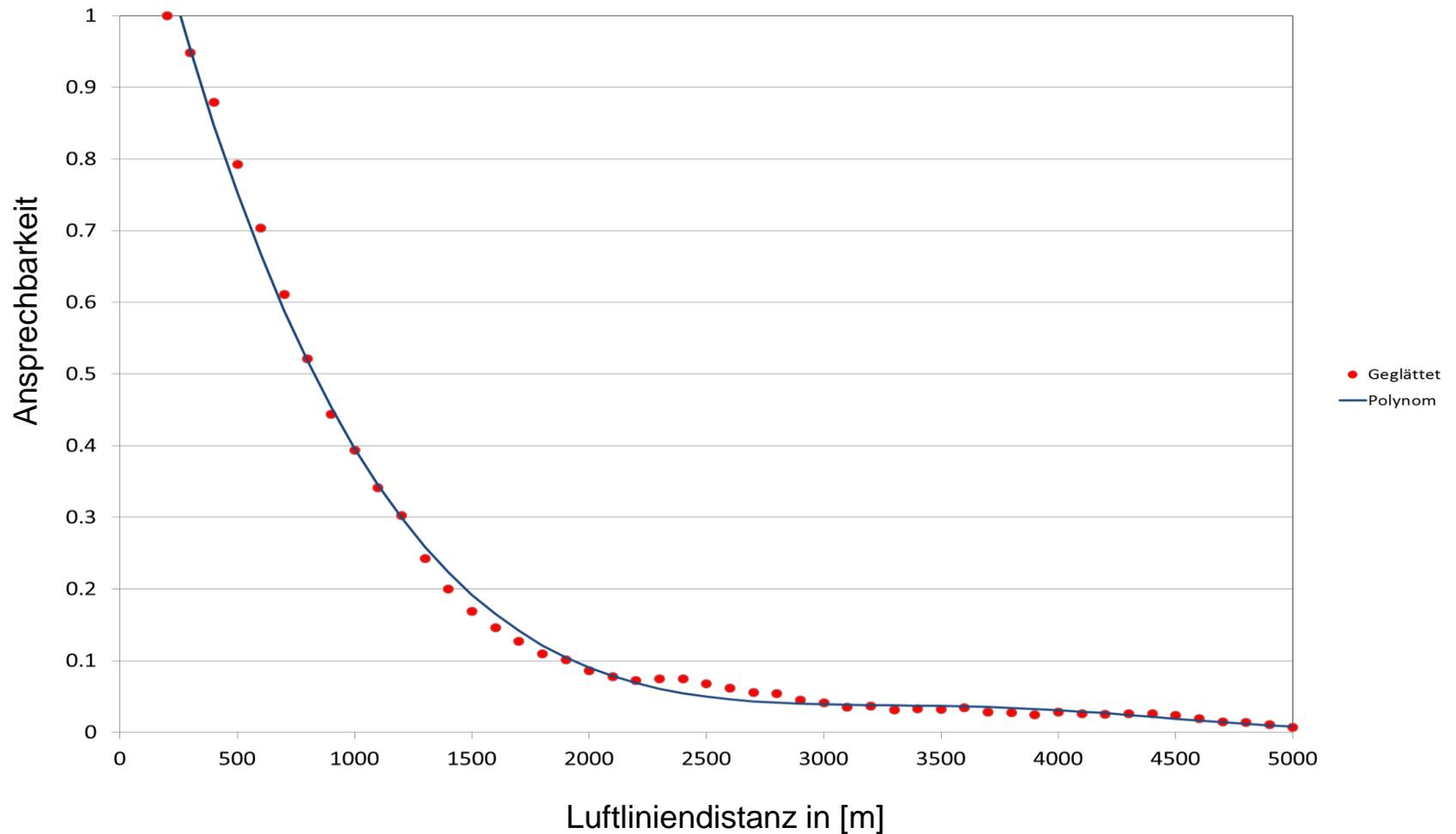


Abbildung: Ansprechbarkeits-Kurve aus Luftliniendistanzklassen von 0.1 km (geglättet)  
an Werktagen [eigene Darstellung, Daten: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010]

# Zeit-Luftliniendistanz-Kurve

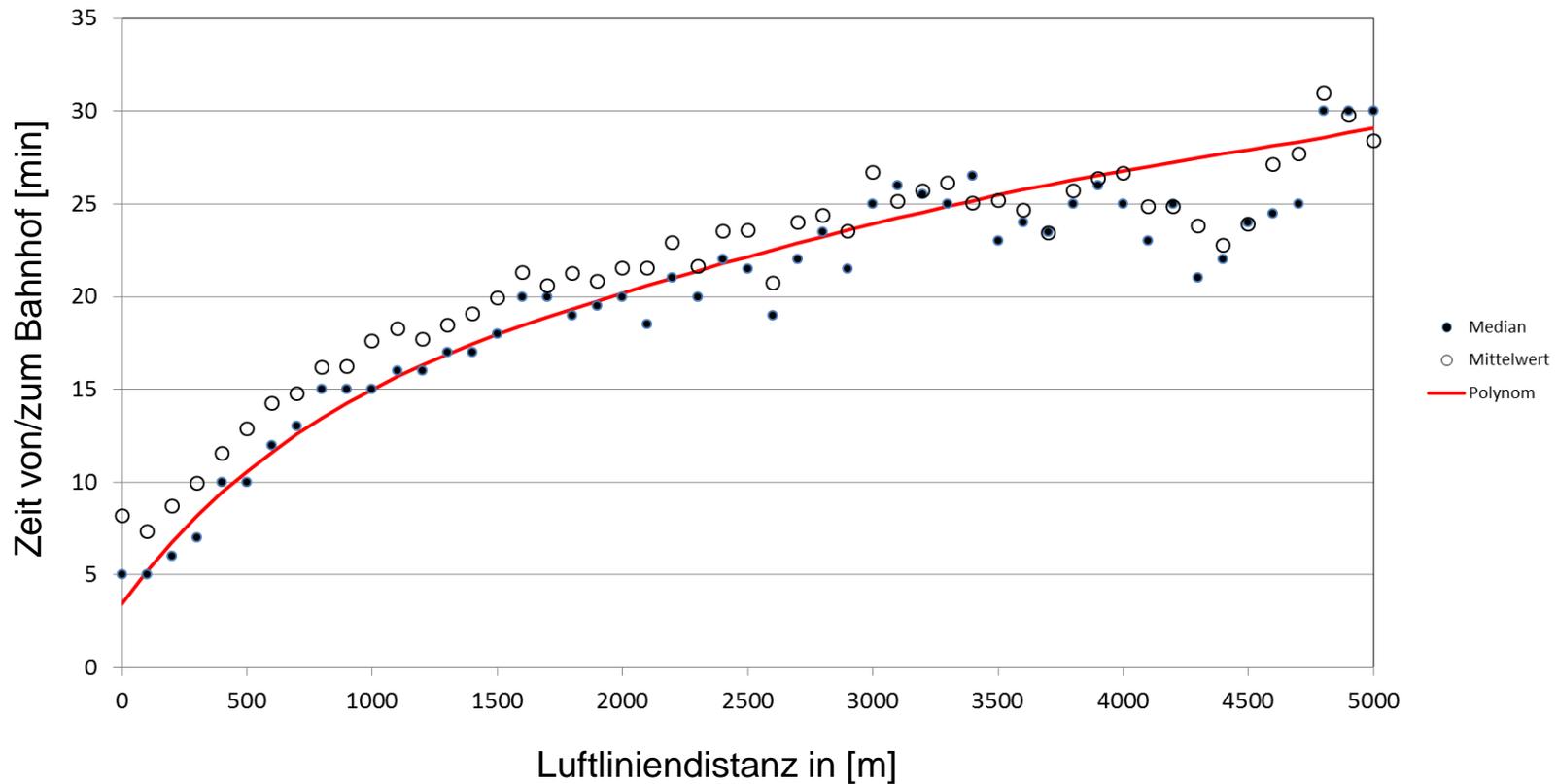
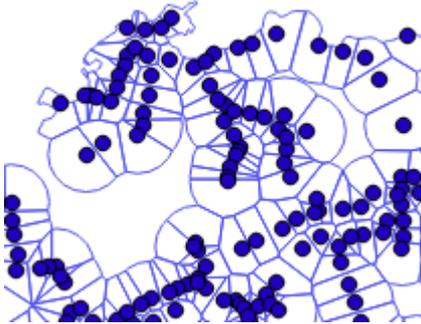


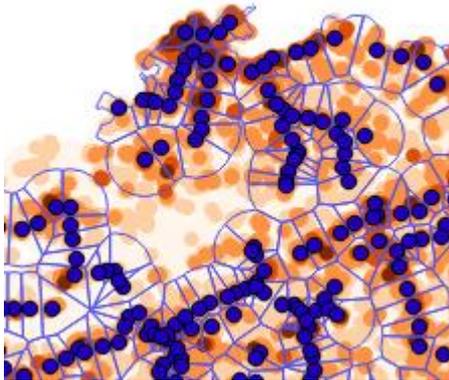
Abbildung Zeit-Luftlinien-Kurve: Konstruierte Kurve Zeit-Luftlinie auf der Basis von Luftlinien Distanzklassen an Werktagen [eigene Darstellung, Daten: Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010]

# Definition der Bezirke mit QGIS

---



- Grundlage sind korrekte Daten Koordinaten der Stationen.
- Bezirke aus einem 5 km Buffer und einem Vornoi-Polygonnetz (Thyssen Polygon) aus den Stationsdaten.
- Zusätzliches «Abschneiden» entlang der Landesgrenzen und von Seeflächen.
- Händisches Entfernen von isolierten Flächen die durch Seen getrennt wurden.

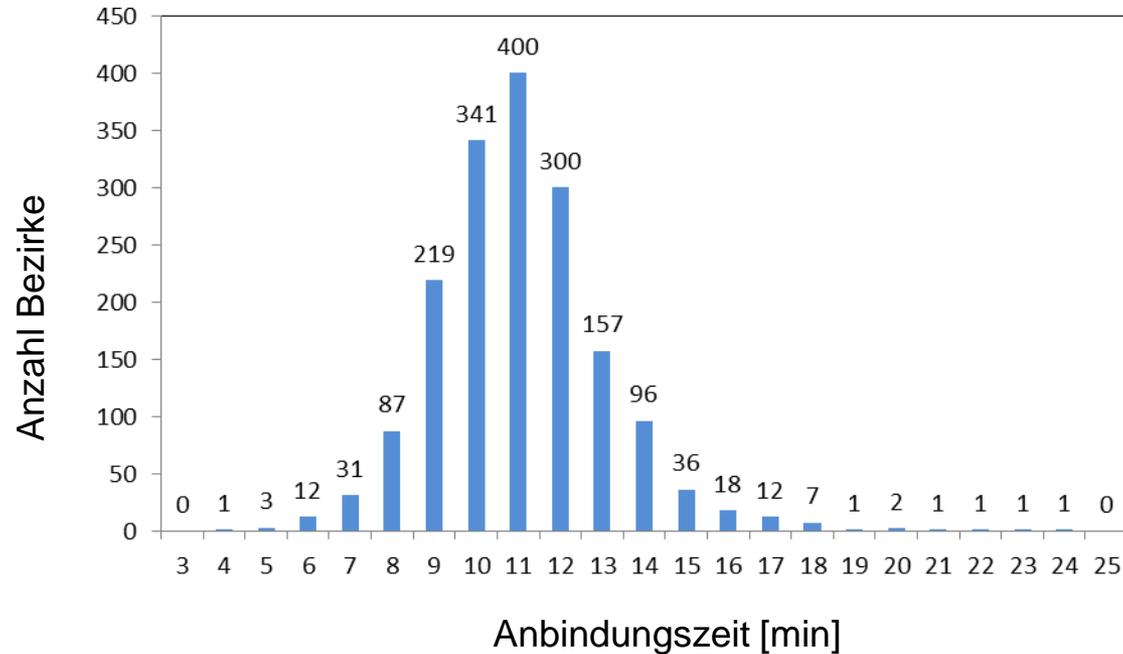


- Verschneiden der Bezirke mit dem Hektarraster ergibt einen Datensatz der jedem Hektarpunkt einen Bezirk zuweist.
- Dieser Datensatz kann als Tabelle exportiert werden

Visuelle Beurteilung:

Bei gleichwertigen Bahnhöfen ergibt sich meist ein plausibles Bild. Liegen Bahnhöfe sehr nahe beieinander ergeben sich «Mini-Bezirke» auch für Verkehrsstarke Bahnhöfe. Dies scheint unrealistisch.

# Resultate

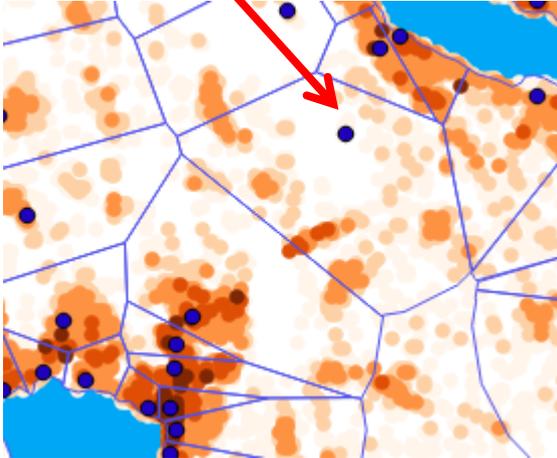


Mit dem gewählten Verfahren liegen die Anbindungszeiten zwischen 4 und 24 Minuten  
 exemplarische Beispiele zur Beurteilung von Extremwerten:

Bezirk	Personen und Arbeitsplätze	Anbindungszeit [min]
Alp Grüm	15	4 plausibel
Jungfrauoch	131	5 plausibel
Lüscherz	670	20 ?
Sihlbrugg	10318	22 ??

# Beurteilung von zwei «Extremwerten»

Sihlbrugg:

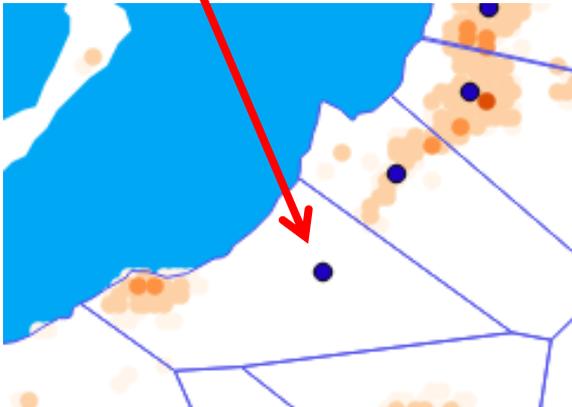


- Die Polygonfläche für den Bezirk hat keinen Bezug zur «Verkehrsrealität» Realität.
- Bahnhof gibt es nicht mehr!
- Bezirk ist direkt an Baar und Horgen angebunden.
- Im Modell 2014 keine Einsteiger

Lesson Learnd:

- Verkehr in der Kontrolle Berücksichtigen

Lüscherz:

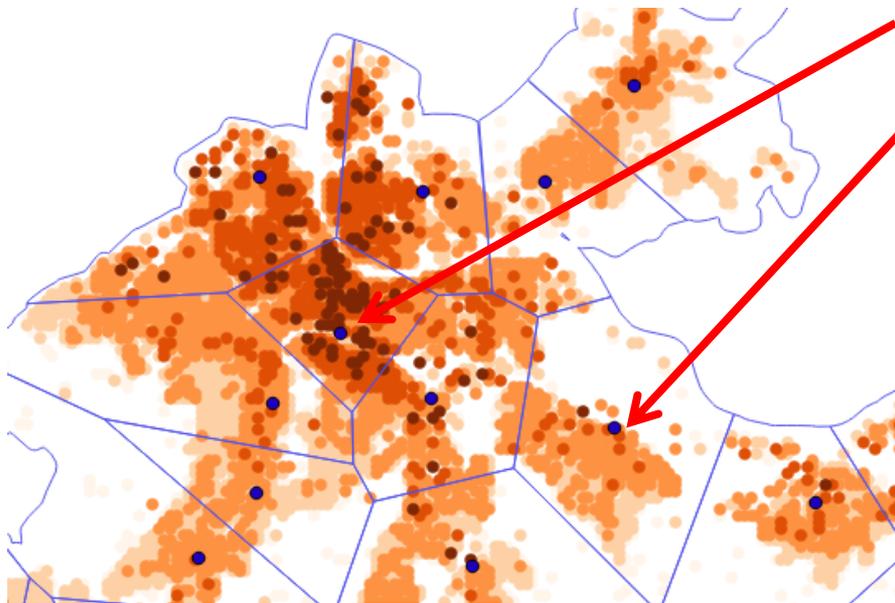


- Die Polygonfläche für den Bezirk zeigt die Situation gut auf.
- Verkehr ins Netz der SBB ist auch an dieser Station gering.

# Beurteilung der Resultate Zentren am Beispiel Basel

Basel:

Bezirk	Personen und Arbeitsplätze [nicht gewichtet]	Anbindungszeit Modell [min]	Anzahl in Mikrozensus	Mittelwert Dauer Mikrozensus [min]	Median Dauer Mikrozensus [min]
Basel SBB	114414	12	424	22.2	20
Basel Dreispitz	49739	13			
Basel Bad Bf	87548	14			
Basel St. Johann	107747	14			



- Bezirk für Basel SBB sehr klein
- In der Realität steht Muttenz wieder «für sich» im ÖV-Netz
- Basel St. Johann und selbst Basel Badischer Bahnhof sind relativ unwichtig.
- Grosse Differenz zu Zürich mit wichtigen Bahnhöfen um HB-Zürich

## Weitere Schritte:

---

- Vergleich aller Mikrozensus «Anbindungen» an Bahnhöfen mit mehr als 100 Fällen mit den Modell-Resultaten. Dazu ist ein Mapping über Koordinaten notwendig (Grund: keine einheitlichen Bezeichnungen).
- Zweistufiges Verfahren für verkehrsstarke Bahnhöfe und mittlere und kleine Bahnhöfe. «Unterdrücken» von Bezirken aufgrund des Verkehrsaufkommens.
- Eventuell direktes verwenden von empirischen Daten für die grössten Bahnhöfe.
- Entscheid für/gegen Übernahme der Anbindungszeiten ins Produktive Modell.

# Literatur

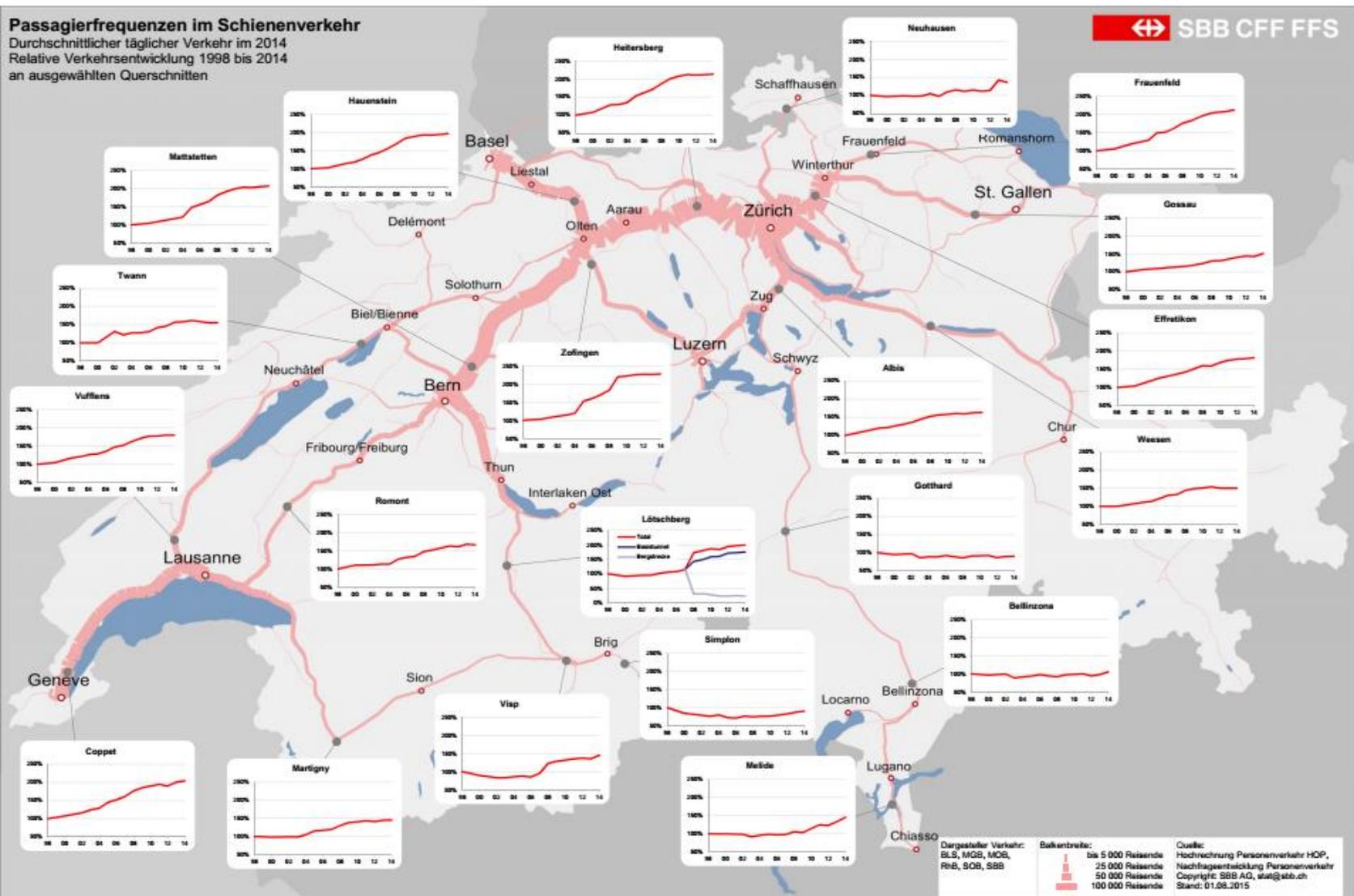
---

- [1]: SBB Personenverkehr, P-UE-NAE (2014), Nachfrageentwicklung 2014, Interne Veranstaltung, Bern, Mai 2014.
- [2]: Lieberherr, Johannes (2013), The modeling environment of Swiss Federal Railways SBB & how to deal with capacity restrained assignment, PTV User Group Meeting 2013, London, Juli 2013.
- [3]: Galster, M. (2008) Modellierung von Anbindungen in Verkehrsplanungsmodellen, Dissertation, Institut für Straßen- und Verkehrswesen Universität Stuttgart, Stuttgart[
- [4]: Jermann, J. (2004) GIS-basiertes Konzept zur Modellierung von Einzugsbereichen auf Bahn-Haltestellen, Dissertation, IVT ETH Zürich, Zürich

# Anhang

## Passagierfrequenzen im Schienenverkehr

Durchschnittlicher täglicher Verkehr im 2014  
Relative Verkehrsentwicklung 1998 bis 2014  
an ausgewählten Querschnitten



# Knoten, Anbindungen und Bezirke im Verkehrsmodell

Die wichtigsten Modellelemente und ihre Eigenschaften aus Sicht der Fragestellung:

Element	Allgemein in Visum [nach PTV (2014)]	Besonderheit in der SBB Implementation
Knoten	<p>Modellfunktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifiziert über eine Knotennummer</li> <li>• Geographische Lage über Koordinaten definiert</li> <li>• Kann über eine oder mehrere Anbindungen mit Bezirken verknüpft sein (Anbindungsknoten).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktisch immer Knoten in einem Eisenbahnnetz (Ausnahmen: Knoten eines Bussnetzes).</li> <li>• Anbindungsknoten repräsentieren immer eine Haltestelle im ÖV Netz.</li> <li>• Anbindungsknoten haben meist einen eindeutigen Namen, Haltestellenkürzel und eine UIC Haltestellennummer.</li> </ul>
Anbindung	<p>Modellfunktion: Schliesst den Bezirk mit der Nachfrage an das das Netz an. Stellt den Zugangs- respektive Abgangsweg vom Bezirk zum Anbindungsknoten dar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hat eine eindeutige Bezirksnummer, Knotennummer und Weg-Richtung. Ist Quell- oder Zielanbindung(Zugangs-oder Abgangsweg). Kann über diese drei Elemente identifiziert werden.</li> <li>• Hat eine Anbindungszeit und eine Anbindungslänge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Quell- und die Zielanbindung für die Verbindung eines bestimmten Knoten mit einem bestimmten Bezirk enthalten immer die gleiche Anbindungszeit und Anbindungslänge.</li> <li>• Die Anbindungslänge hat keine Bedeutung.</li> <li>• Die Startwartezeit muss in der Anbindungszeit enthalten sein.</li> </ul>
Bezirk (Zelle)	<p>Modellfunktion: Verknüpft Verkehrsnachfrage (Quell-/Ziel Matrizen) mit dem Verkehrsangebot.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hat eine Nummer zur Identifikation und einen Namen</li> <li>• Hat einen geographischen Schwerpunkt mit Koordinaten</li> <li>• Muss über mindestens eine Quell- und eine Zielanbindung mit dem Netz Verbunden sein.</li> <li>• Kann als Polygon geographisch definiert sein</li> <li>• Kann mit Strukturdaten erweitert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein Bezirk ist meist über einen Anbindungsknoten definier und trägt meist dessen Namen und dessen Kürzel.</li> <li>• Die Bezirke sind nicht über ein Polygon geographisch definiert.</li> <li>• Der Schwerpunkt hat nur eine darstellerische Bedeutung (Positionierung der Beschriftung)</li> </ul>

# Anteile der Verkehrsart nach Luftliniendistanz

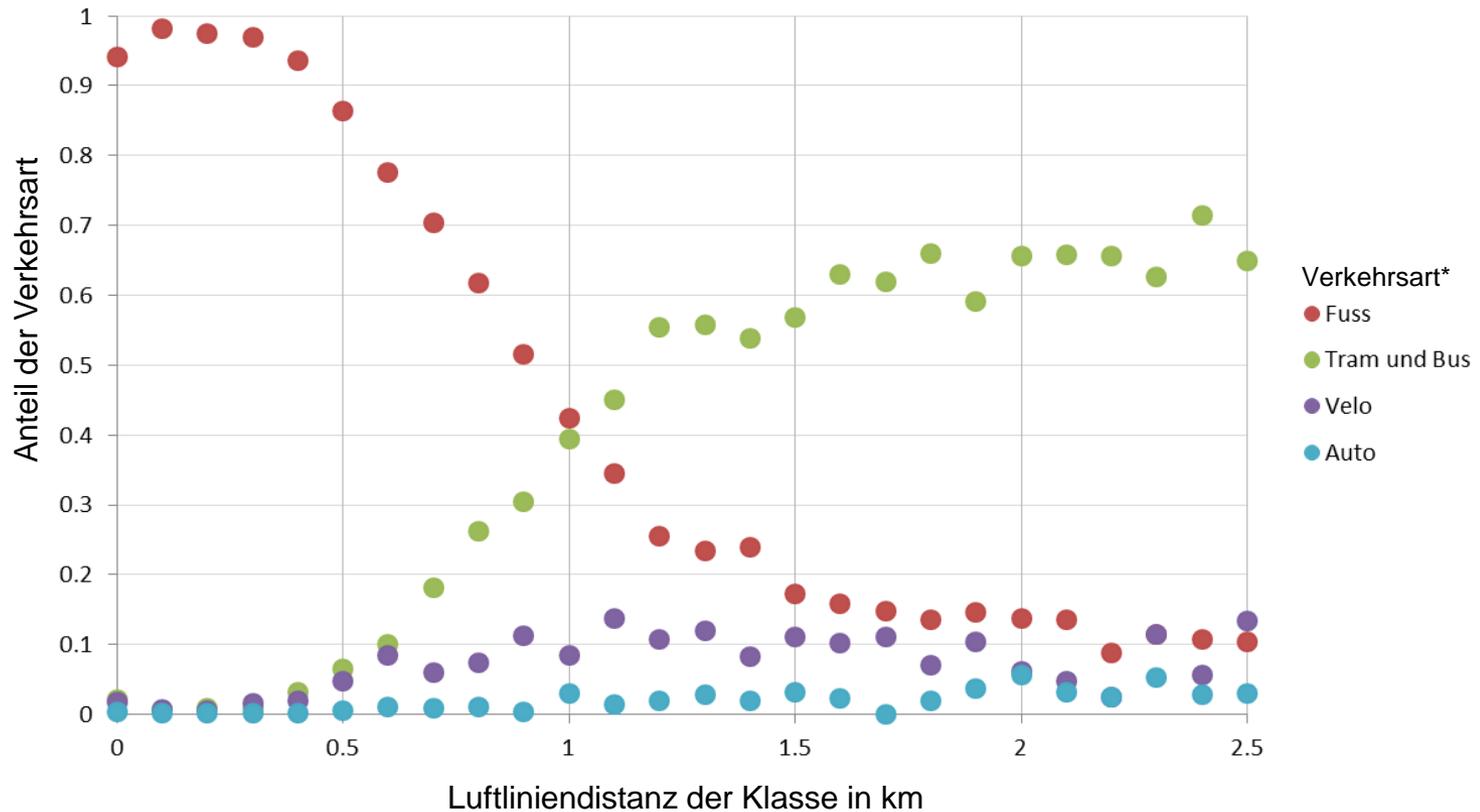


Abbildung: Anteile der Verkehrsart in Luftliniendistanzklassen von 0.1 km an Werktagen [eigene Darstellung, Daten: Mikrozensus Verkehr 2010]

\*Verkehrsart der Anbindung: Tram und Bus: inkl. Postauto; Auto: Mit- und Selbstfahrer;