

Auswirkungen von Störungen, Attacken und Naturgefahren auf die Stabilität von Verkehrsnetzen

Tag der Forschung und Innovation, Fribourg (CH)

Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
ETH Zürich

11.März 2010

 Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme
Institute for Transport Planning and Systems

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Gliederung der Präsentation

1. Motivation und Ziele
2. Komplexe Netzwerke
3. Beschreibung des Eisenbahnsystems
4. Störereignisse
5. Ergebnisse und Analyse-/Simulationstool
(Analyse des Teilsystems Infrastruktur)



17	Zug fällt aus
3	Zug fällt aus
15	
7	Zug fällt aus
	Zug fällt aus
22	Zug fällt aus
) 9	Zug fällt aus
2	Zug fällt aus

1. Motivation und Ziele - Motivation

Ein kleiner Schalter führte zu grossen Verspätungen bei der S-Bahn

Ein Relais im Stellwerk des Bahnhofs Stadelhofen stieg gestern aus. Im S-Bahn-Netz kam es während Stunden zu Verspätungen.

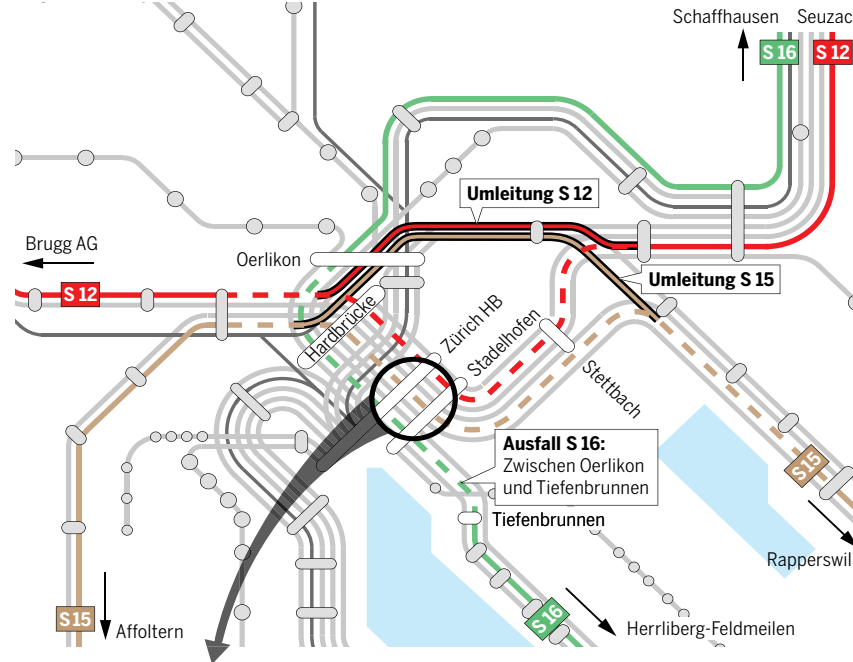
Von Ruedi Baumann

Zürich - Immer wieder Stadelhofen. Was auf dem Autobahnnetz der Gubristunnel, ist auf dem Zürcher S-Bahn-Netz die Tunnelstrecke zwischen Hauptbahnhof und Bahnhof Stadelhofen. Gestern Morgen ist es zur mindestens zehnten grösseren Stellwerkstörung in den letzten sechs Jahren gekommen, die in den Medien Erwähnung fand. Die Ursache war so klein, wie die Folgen gross waren: Ein kleines Relais - also ein elektrischer Schalter - hatte um 8 Uhr seinen Dienst versagt.

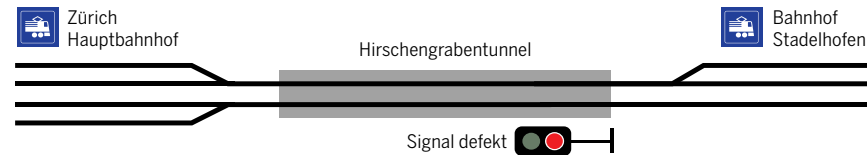
Das Ausfahrtsignal beim Bahnhof Stadelhofen auf dem linken Gleis Richtung HB stellte auf Rot, der zweispurige Hirschengraben-tunnel war nur noch in eine Richtung befahrbar, die Störung breitete sich im S-Bahn-Netz innert Minuten wie beim Dominospiel aus. Direkt betroffen waren die S12, die S15 und die S16 (siehe Grafik). Es kam zu Zugausfällen und Verspätungen bis zu 20 Minuten. Um 9.45 Uhr war die Störung behoben, um 10.45 Uhr waren wieder alle S-Bahnen im Takt. Zusätzlich - und unabhängig von der Stellwerkstörung - blieb kurz vor 9 Uhr beim Bahnhof Stettbach eine Lokomotive der S12 stehen. Die nachfolgende S5 wurde mit 40 Minuten Verspätung über Oerlikon umgeleitet.

Die S-Bahn-Störung vom Freitagmorgen

Drei Linien fielen aus (S16) oder mussten umgeleitet werden (S12, S15)



Engpass HB-Stadelhofen



TA-Grafik mt

Das Stellwerk Stadelhofen, ein schwacher Punkt? SBB-Sprecher Daniele Pallecchi widerspricht energisch. Die Technik im Stellwerk Stadelhofen vom Typ Domino 67 sei weit verbreitet, gelte als sehr zuverlässig und werde von den SBB «mit schweizerischer Gründlichkeit» gewartet. Die Relais in Stadelhofen, welche Weichen und Signale steuern, funktionierten so gut wie in jedem anderen Bahnhof der Schweiz, sagt Pallecchi, «aber die Folgen sind grösser, weil Stadelhofen-HB das heikelste Nadelöhr im Zürcher S-Bahn-Netz ist».

Gemäss Berechnungen der SBB funktioniert auf 47 Millionen Relaischaltungen beim Typ Domino 67 eine einzige nicht wie gewünscht. Pro Tag gibts im Schweizer Bahnnetz eine halbe Milliarde Schaltungen oder 6000 pro Sekunde. Allein für eine IC-Fahrt von Zürich nach Bern müssen 200 000 Schaltungen funktionieren.

Viertes Gleis wäre enorm teuer

Eine Entlastung des Engpasses Stadelhofen würde der Ausbau des Bahnhofs von drei auf vier Gleise über einen zweiten, einspurigen Riesbachtunnel bringen. Die Kosten wären aber enorm und das Bauvorhaben sehr komplex, wie der Regierungsrat kürzlich als Antwort auf ein Postulat ausführte: eine halbe Milliarde Franken sowie eine Planungs- und Bauzeit von zehn Jahren. Vordringlich sei das Projekt nicht, argumentiert die Regierung, weil mit der Eröffnung der Durchmesserlinie ab 2013 mehr Züge über Oerlikon geführt werden und Stadelhofen so entlastet wird.

1. Motivation und Ziele - Motivation

Kritische Infrastrukturen

- Gesellschaft abhängig von Systemen der Nahrungs-, Wasser-, Energie- und Transportversorgung sowie der medizinischen Versorgung
 - Kleine, lokal begrenzte Störereignisse → Fehlerkaskaden → Systemausfall
- Schweizerische Strategie zum Schutze kritischer Infrastrukturen



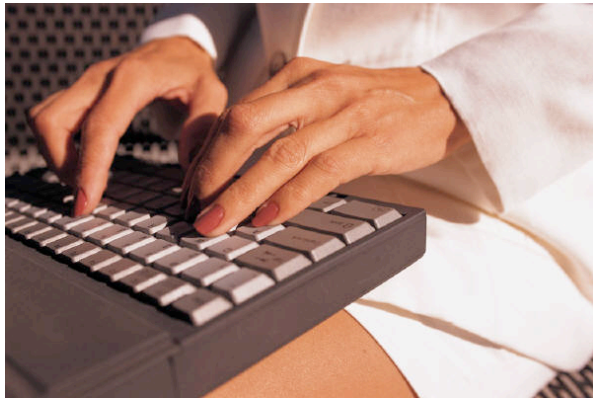
Eisenbahnverkehr

- Kritische Infrastruktur (Systemausfall beeinflusst Gesellschaft, Wirtschaft)
- Ersatz des Eisenbahnsystems extrem schwierig (z.B. in Metropolräumen)



1. Motivation und Ziele - Ziele

- Analyse der Stabilität im Störfall (System und Teilsysteme)
- Identifizierung kritischer Netzelemente und Schnittstellen
- Vorhersage Ausfallreihenfolge und Störungsausbreitungen



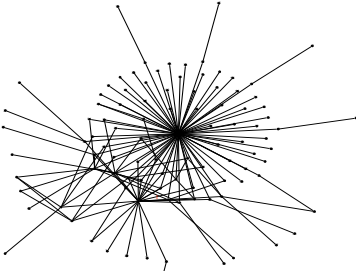
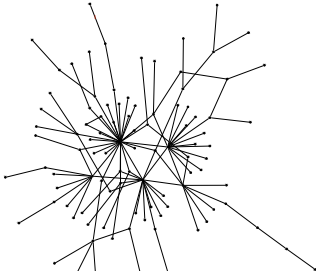
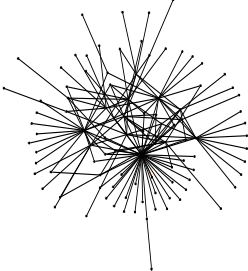
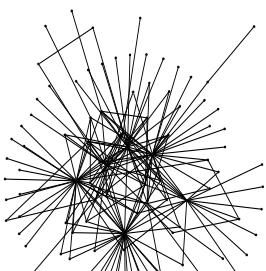
Simulations- und Analysetool (basierend auf “R”):

Phase 1 – Datenvorbereitung (Fallstudien, Vergleichstopologien, neue Netzwerke)

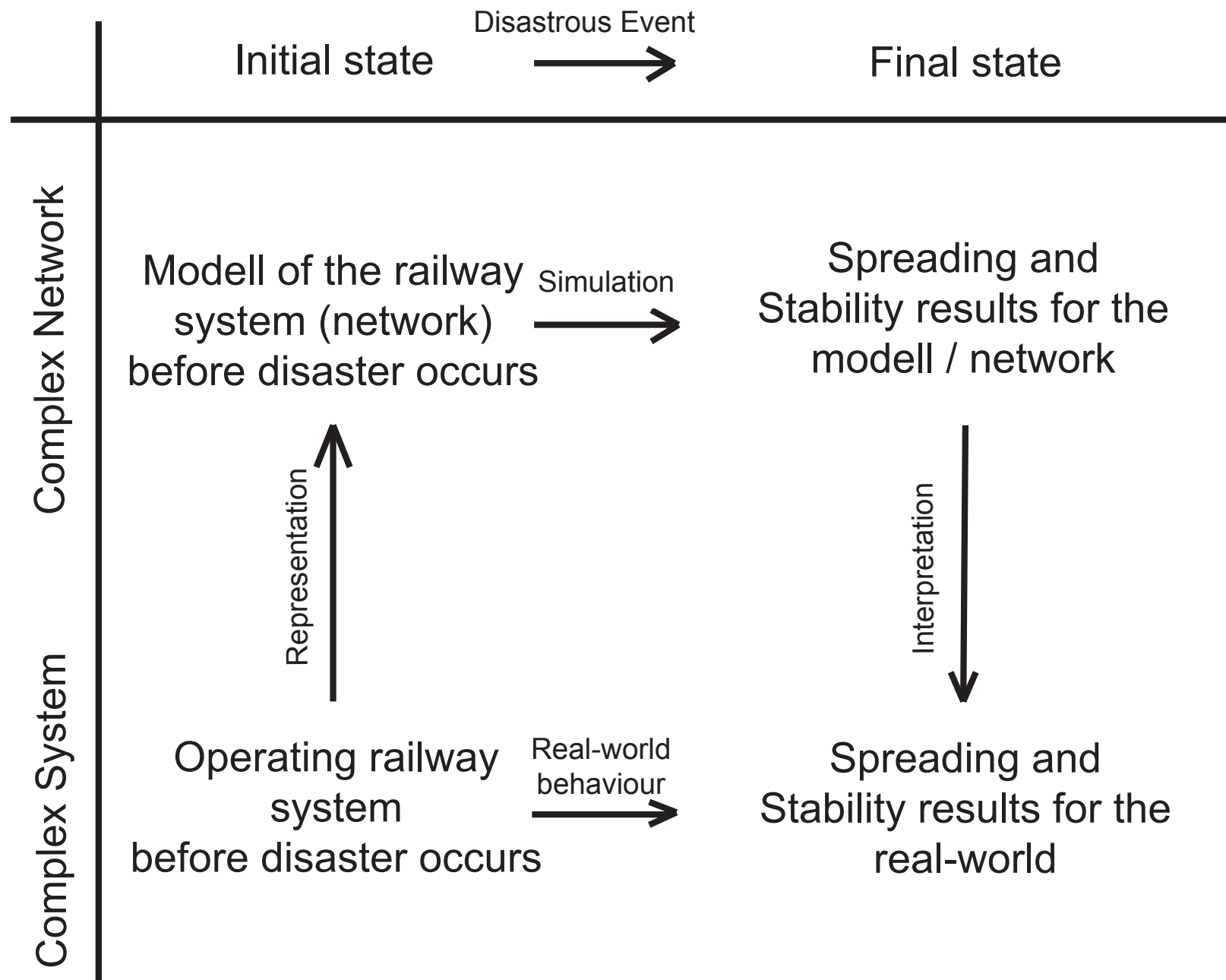
Phase 2 – Analyse der Ausfallsicherheit (Methoden)

Phase 3 – Visualisierung und Simulation

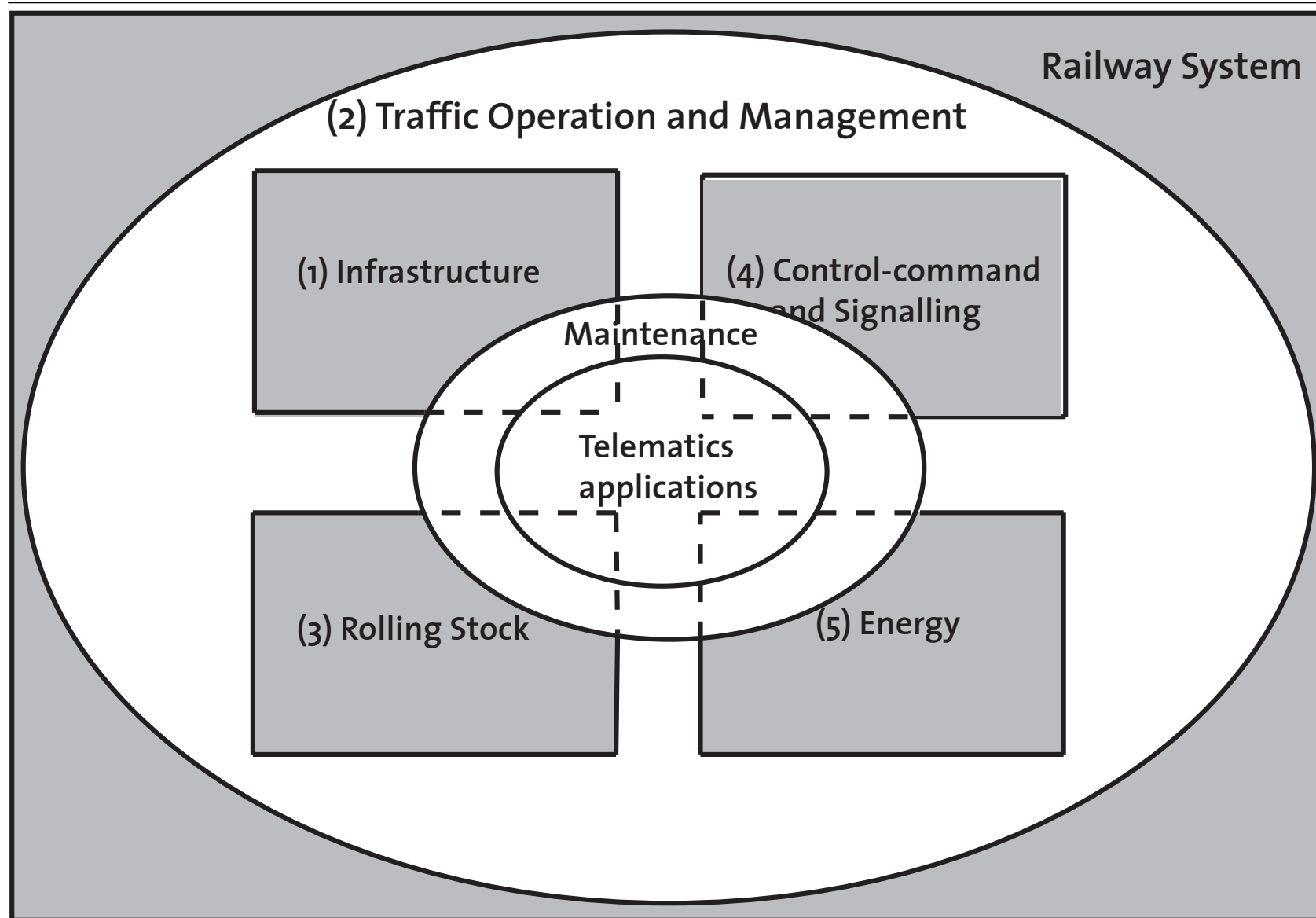
2. Komplexe Netzwerke

Discipline	Social Sciences	Informatics	Biology	Transportation	
Complex systems	Messenger networks	Router networks	Metabolic networks	Network of airports	Railways
Complex networks (Example)					?
Network type	↓	↓	↓	↓	↓?
Knowledge available	<p>Robustness against random errors (failure of randomly chosen nodes or links)</p> <p>Highly sensitive for intentional attacks (removal of important nodes or links)</p>				

2. Komplexe Netzwerke



3. Beschreibung des Eisenbahnsystems



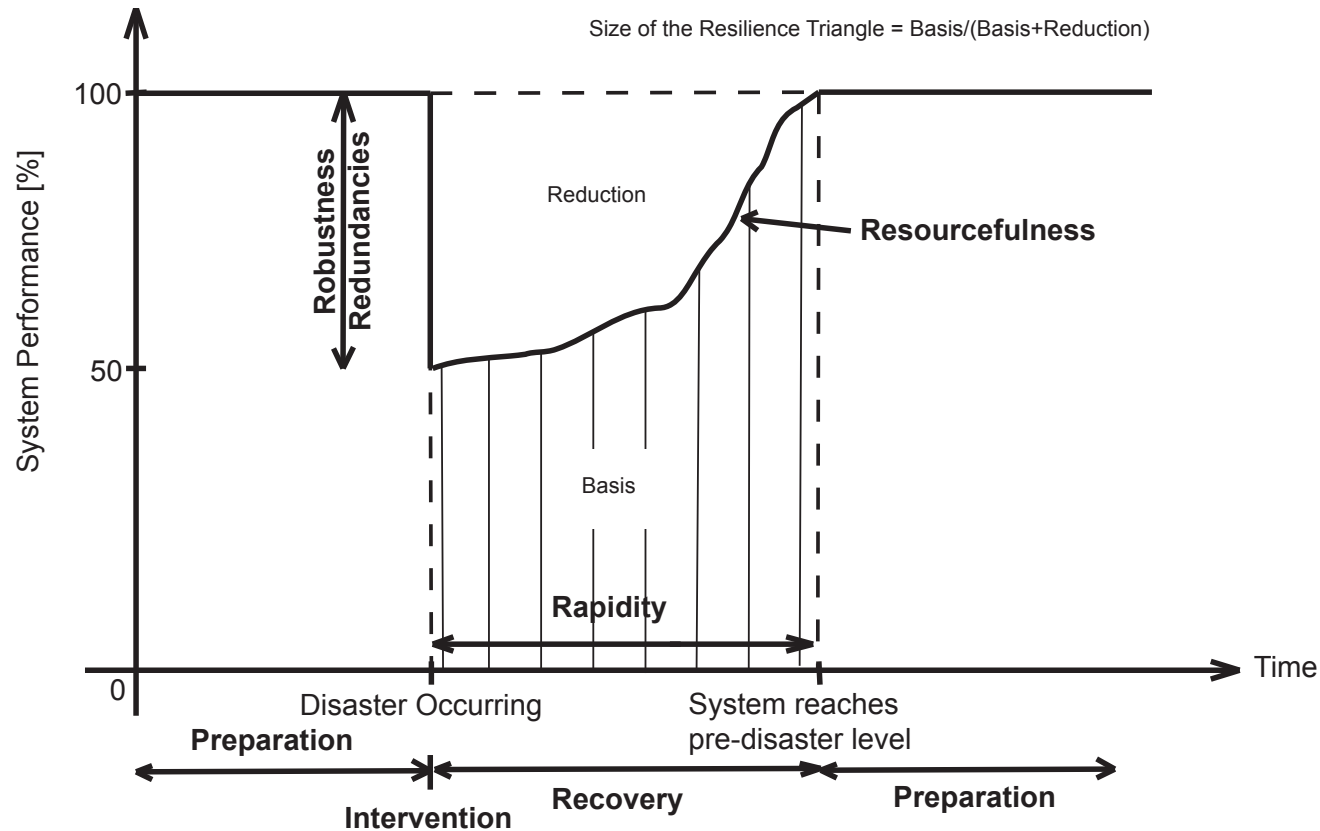
3. Beschreibung des Eisenbahnsystems

System	Subsystem	Units	Macro parts	Micro parts
Railway System	Infrastructure	Stations, track system	Switches, tracks, platforms	Screws, iron, glass, oscillators
	Energy	Energy regions	Transformer stations, electricity supply	Power lines, Overhead lines, Conductor rails
	Control-command and Signalling	Control centres, Remote control centres	Signal boxes, automatic train control, section blocks, line clearance signals	Single commands, single information, hot axle boxes
	Rolling Stock	Trains, Vehicles	Engine, Wheels, Displays	Screws, iron...
	Traffic Operation and Management	Staff, GPS, GSM-R, Communication	Servers, train drivers, detection software	Software, cables, screws

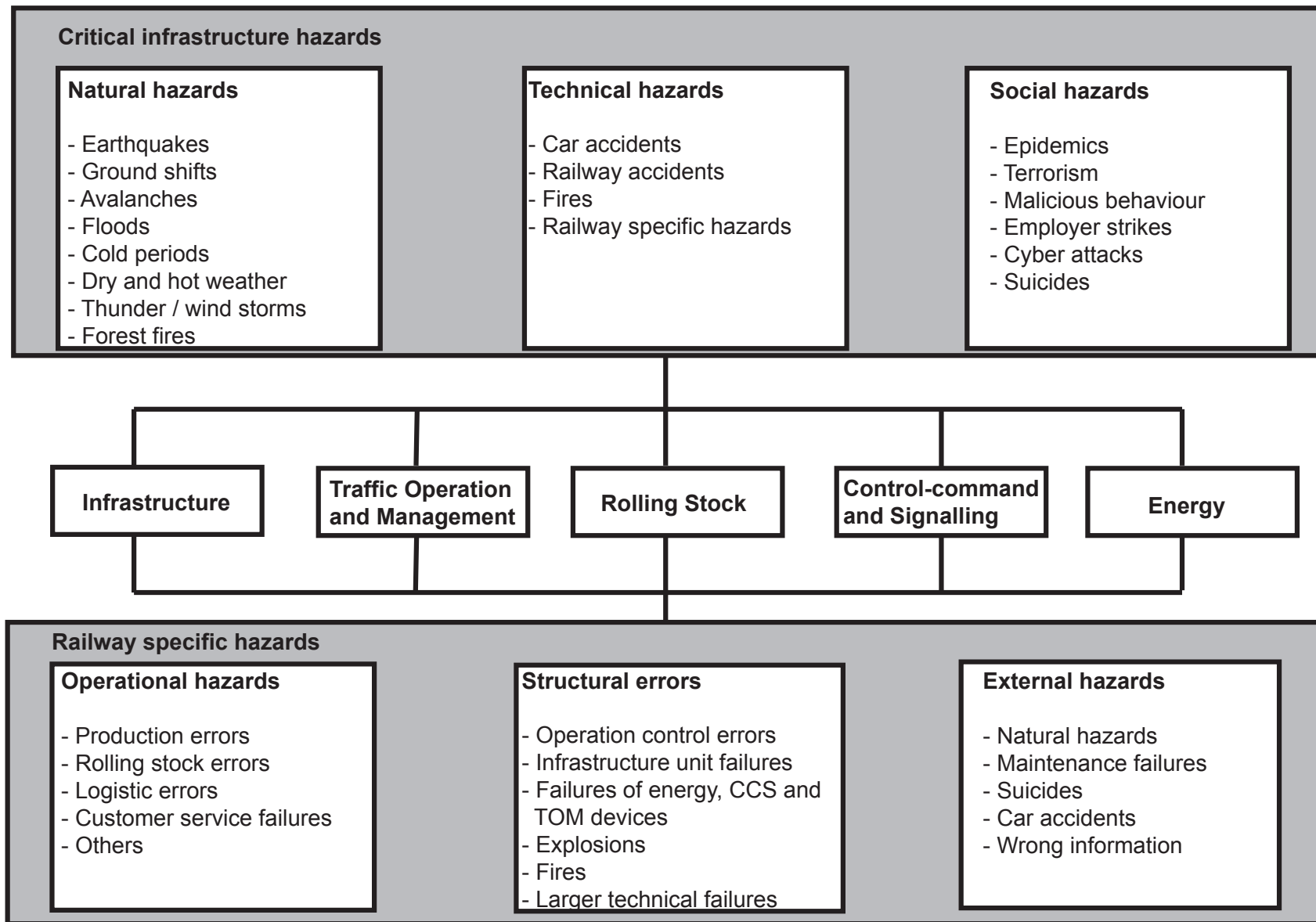
4. Störereignisse

Technische Aspekte der Ausfallsicherheit:

- **Robustheit** des Systems gegenüber Störereignissen
- **Redundanzen** im System
- **Ressourcenverfügbarkeit** im Notfall (engl. „rapidity“)
- **Ressourceneffektivität:** Umgang einer Gesellschaft mit Störungen (engl. „resourcefulness“)



4. Störereignisse



5. Ergebnisse: Phase 1 – Vorbereitung

↔ SBB CFF FFS



Netz Karte Normalspur

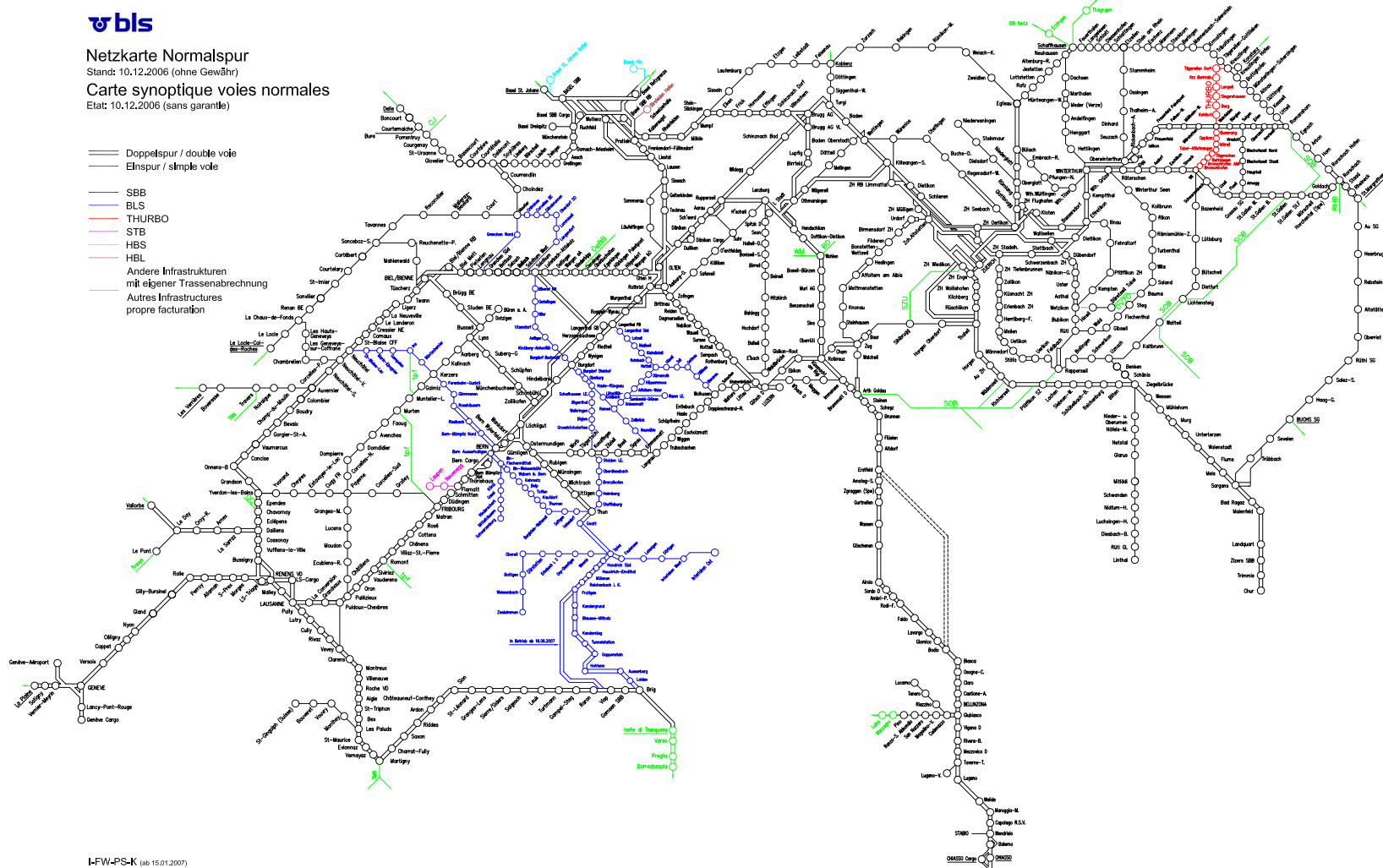
Stand: 10.12.2006 (ohne Gewähr)

Carte synoptique voies normales

Etat: 10.12.2006 (sans garantie)

==== Doppelspur / double voie
 --- Einspur / simple voie

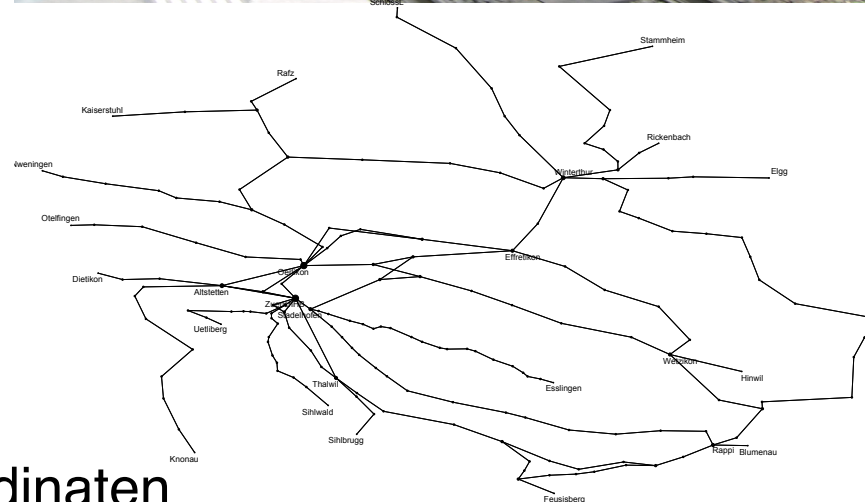
- SBB
- BLS
- THURBO
- STB
- HBS
- HBL
- Andere Infrastrukturen mit eigener Trassenabrechnung
- Autres Infrastructures propre facturation



I-FW-PS-K (ab 15.01.2007)

Fallstudien: Zürich (VBZ Zone 10, ZVV S-Bahn), SBB/BLS Normalspur, Deutschland: Fernverkehr

5. Ergebnisse: Phase 1 – Vorbereitung



Daten: Struktur, Entfernung, Koordinaten

5. Ergebnisse: Phase 2 – Robustheit bei Ausfall einer Station

	Rank	ZVV	SBB / BLS
No weights [1]	1	Zürich HB + 18.4 %	Rothrist + 20.2 %
	2	Effretikon + 14.1 %	Löchligut + 13.5 %
	3	Kempthal + 12.4 %	Thun + 11.0 %
	32		Fribourg + 2.9 %
Weights [km]	1	Zürich HB + 23.7 %	Thun + 11.3 %
	2	Stadelhofen + 14.9 %	Gwatt + 10.4 %
	3	Oerlikon + 14.0 %	Spiez + 5.9 %
	55		Fribourg + 1.5 %
Weights [min]	1	Zürich HB + 21.3 %	Rothrist + 12.1 %
	2	Effretikon + 13.2 %	Thun + 11.7 %
	3	Winterthur + 12.1 %	Gwatt + 11.3 %
	49		Fribourg + 1.5 %

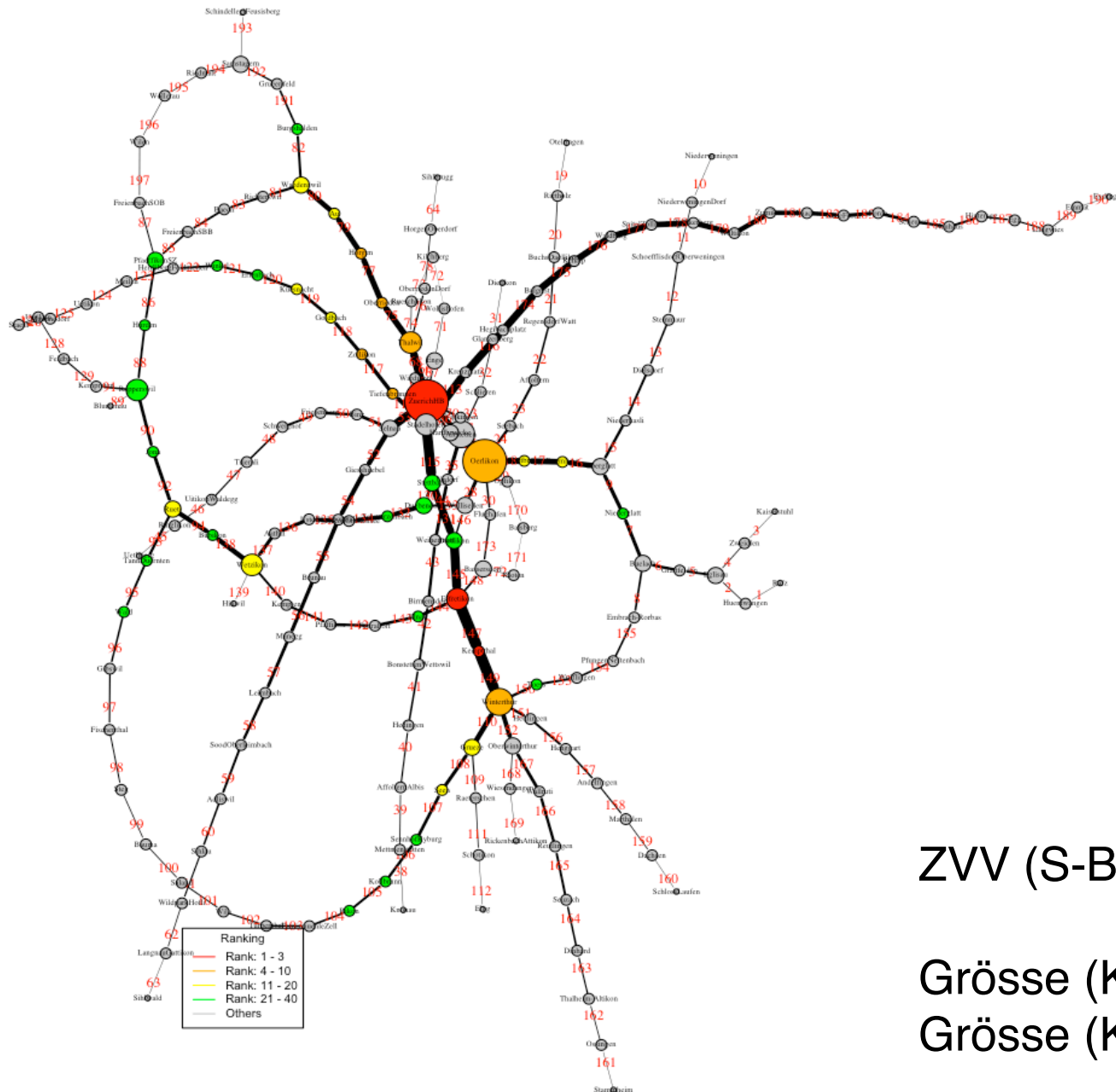
Average distance between the stations

5. Ergebnisse: Phase 2 – Robustheit bei Ausfall einer Station

	Rank	ZVV	SBB / BLS		
No weights [1]	1	Zürich HB	89.1 %	Arth-Goldau	94.0 %
	2	Stadelhofen	89.1 %	Steinen	94.1 %
	3	Selnau	89.6 %	Schwyz	94.2 %
	221			Fribourg	99.9 %
Weights [km]	1	Winterthur	86.9 %	Arth-Goldau	93.2 %
	2	Zürich HB	89.9 %	Steinen	93.5 %
	3	Altstetten	90.9 %	Schwyz	93.6 %
	101			Fribourg	99.4 %
Weights [min]	1	Altstetten	78.4 %	Arth-Goldau	94.0 %
	2	Oerlikon	79.0 %	Steinen	94.3 %
	3	Zürich HB	88.8 %	Schwyz	94.4 %
	128			Fribourg	99.5 %

Giant component size

5. Ergebnisse: Phase 3 – Visualisierung und Simulation

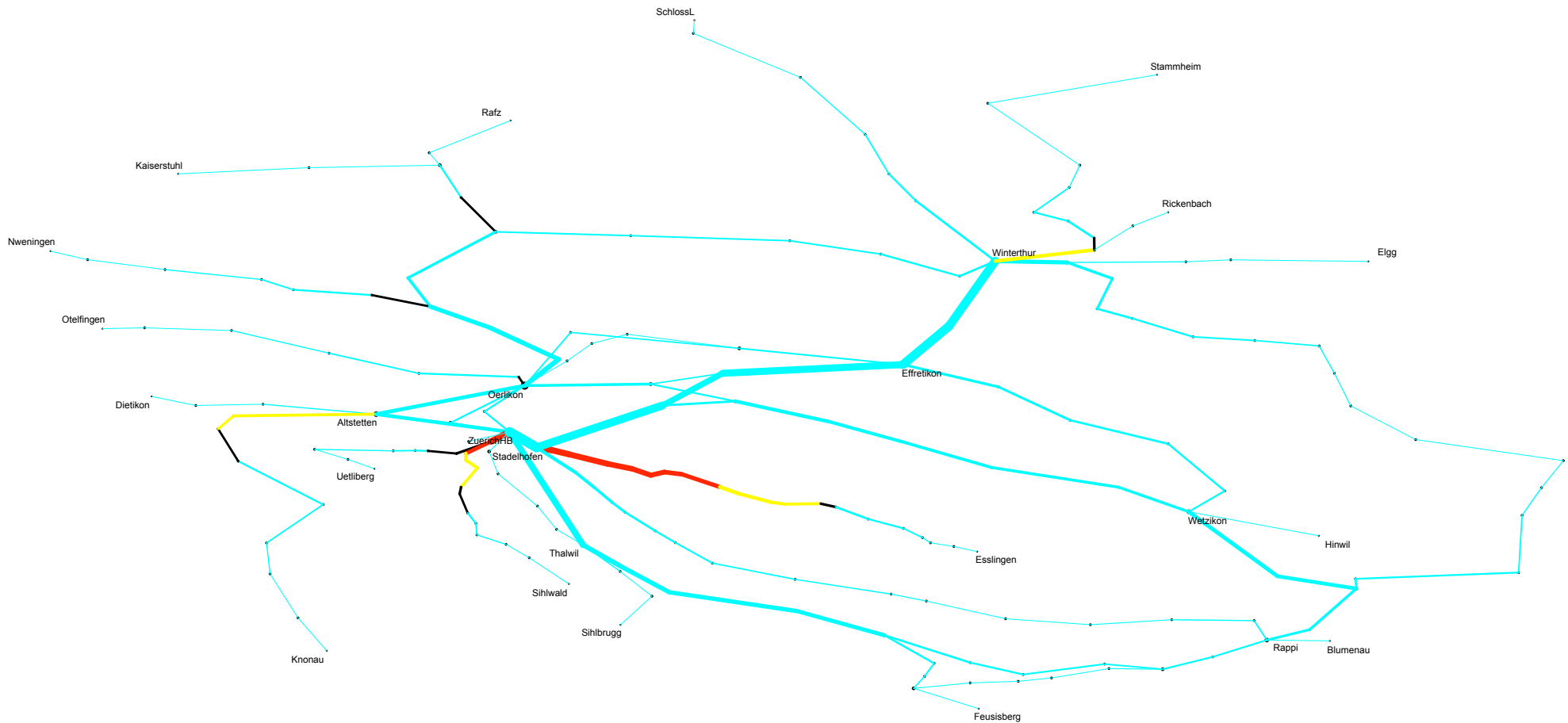


ZVV (S-Bahn), Umwege

Grösse (Knoten) ~ Grad

Grösse (Kanten) ~ BC

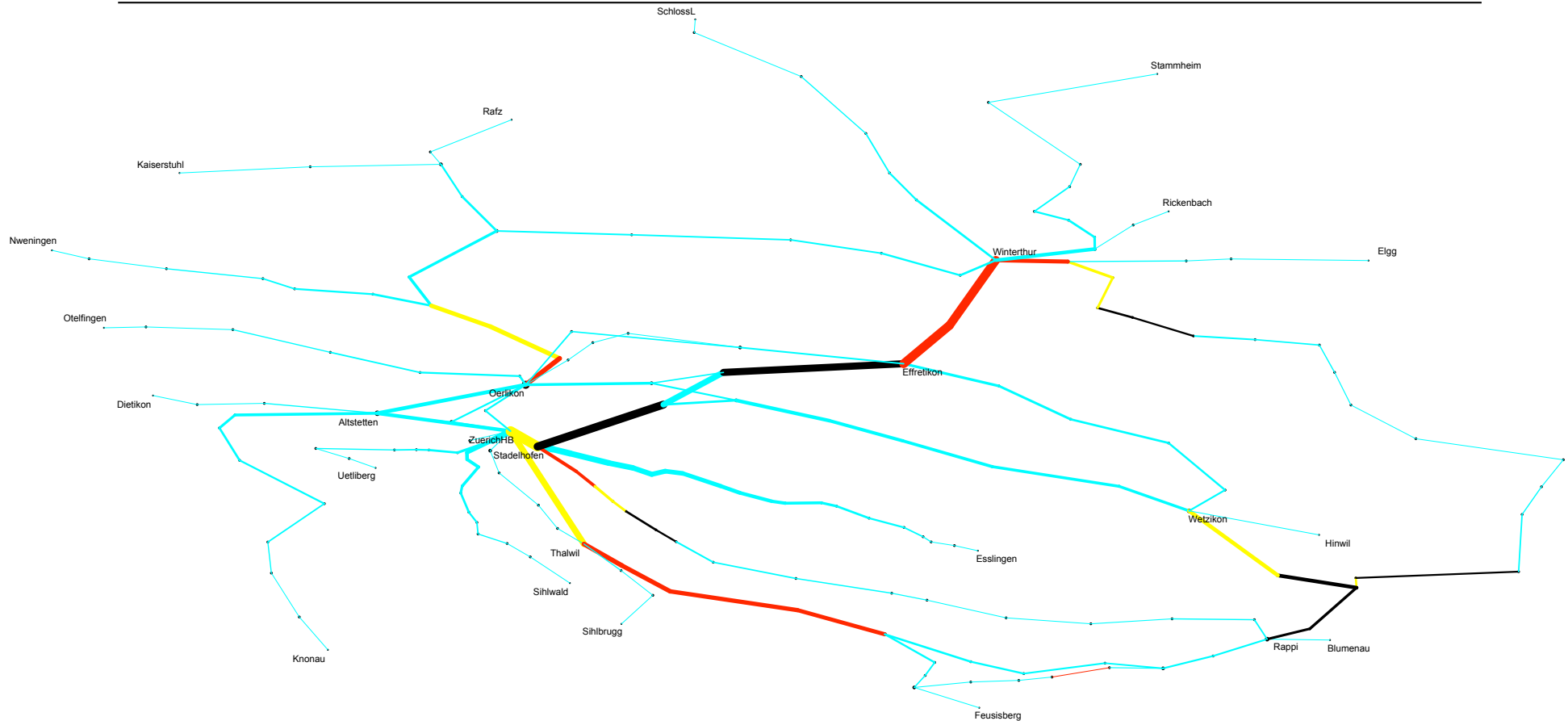
5. Ergebnisse: Phase 3 – Visualisierung und Simulation



ZVV (S-Bahn), Giant Component Size, alle Kanten haben den Wert 1

Kantendicke entspricht BC

5. Ergebnisse: Phase 3 – Visualisierung und Simulation



ZVV (S-Bahn), Umwege, alle Kanten haben den Wert 1

Kantendicke entspricht BC

Nächste Schritte

Erhöhung des Detaillierungsgrades (Betriebsprozesse)

Modellierung des Gesamtsystems

Verifizierung des Modells anhand eines realen Störfalles

Und viele weitere



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit → Fragen ?