

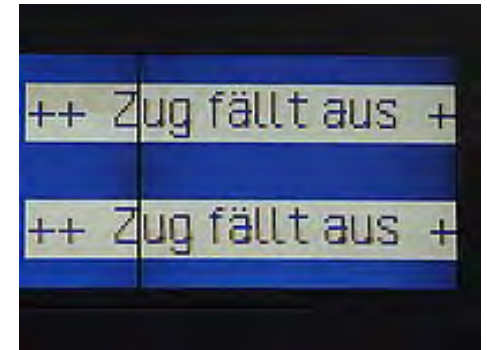
Strukturelle und betriebliche Auswirkungen von Störungen auf Bahnnetze

Öffentliches Dissertationsseminar
18. April 2012, Zürich



Überblick - Doktorat

- **Zeitraum:** 2008 - 2012
- **Kernfrage:** Wie wirken sich schwere Störereignisse betrieblich aus? Sind Topologieuntersuchungen ausreichend?
→ Anwendung: Ereignisvorsorge...
- **Methoden:** Literatursauswertung (v.a. Paper), Modellierung und Simulation (mit *R*)



Bildquelle: dpa



Bildquelle: bahn.de

WELT ONLINE

PFÄLZERWALD
ICE aufgeschlitzt – Bahnstrecke bleibt gesperrt

Nach der Kollision eines ICE mit einem Müllwagen im Pfälzerwald wird der Bahnverkehr umgeleitet.



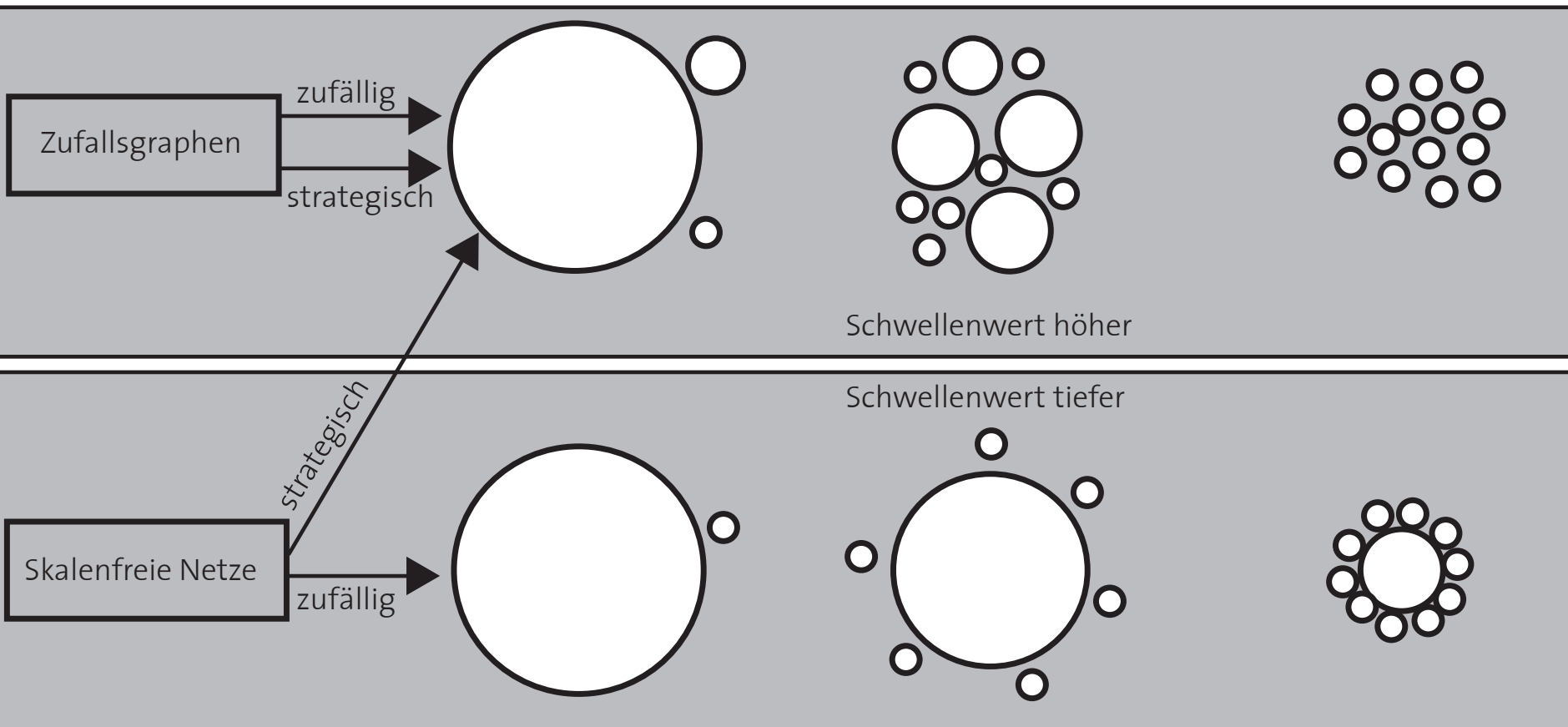
In Rheinland Pfalz wurde ein ICE regelrecht aufgeschlitzt, ...

Bildquelle: welt.de

Ausgangslage – Topologiebetrachtung

Anteil entfernter Knoten: Unterhalb Bei Schwellenwert Oberhalb
Schwellenwert Schwellenwert Schwellenwert

→



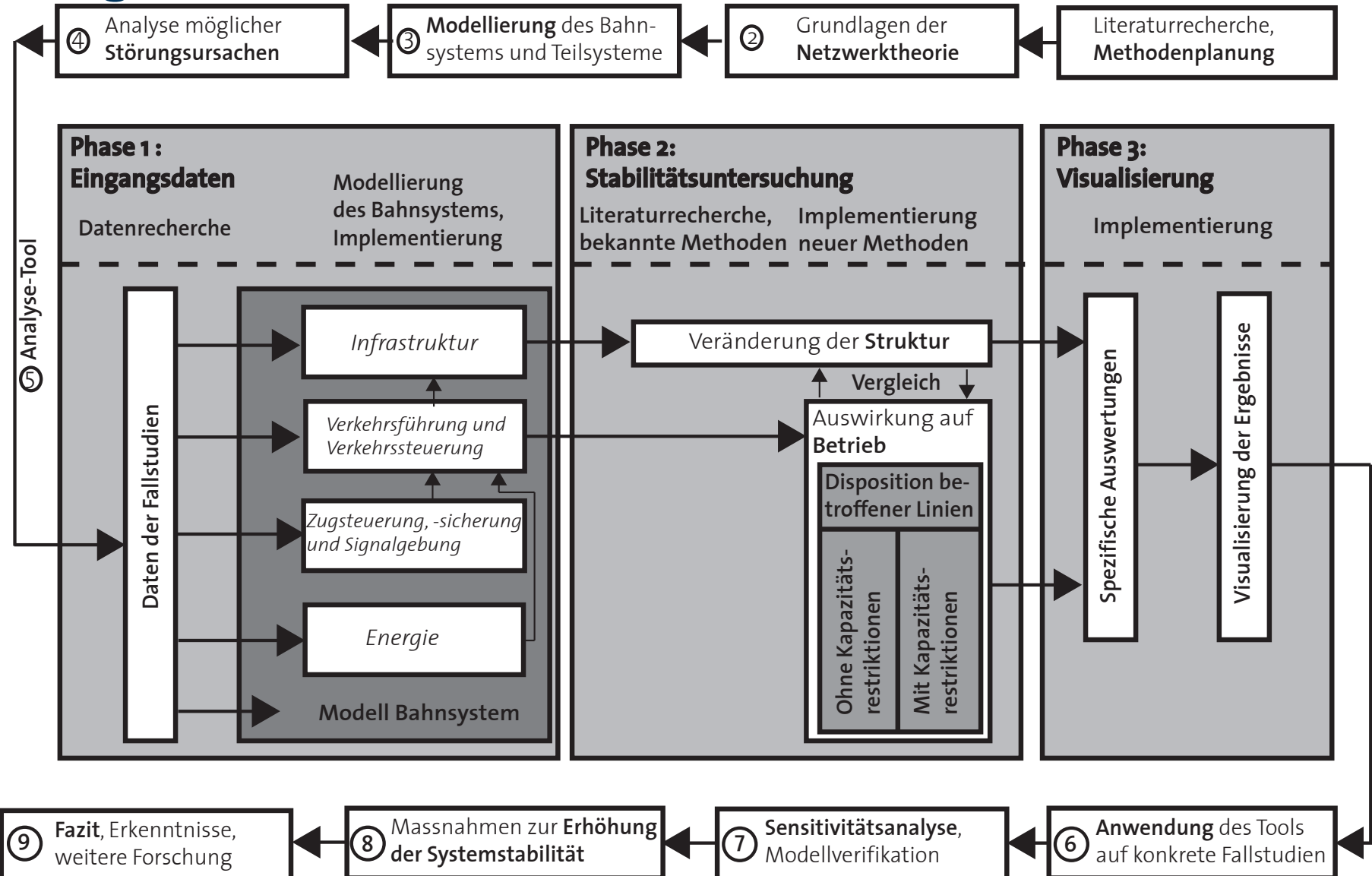
Siehe [Albert et al., 2000]

→ Stabilitätseigenschaften aus der Topologie ableitbar (auch für Bahnbetrieb?)

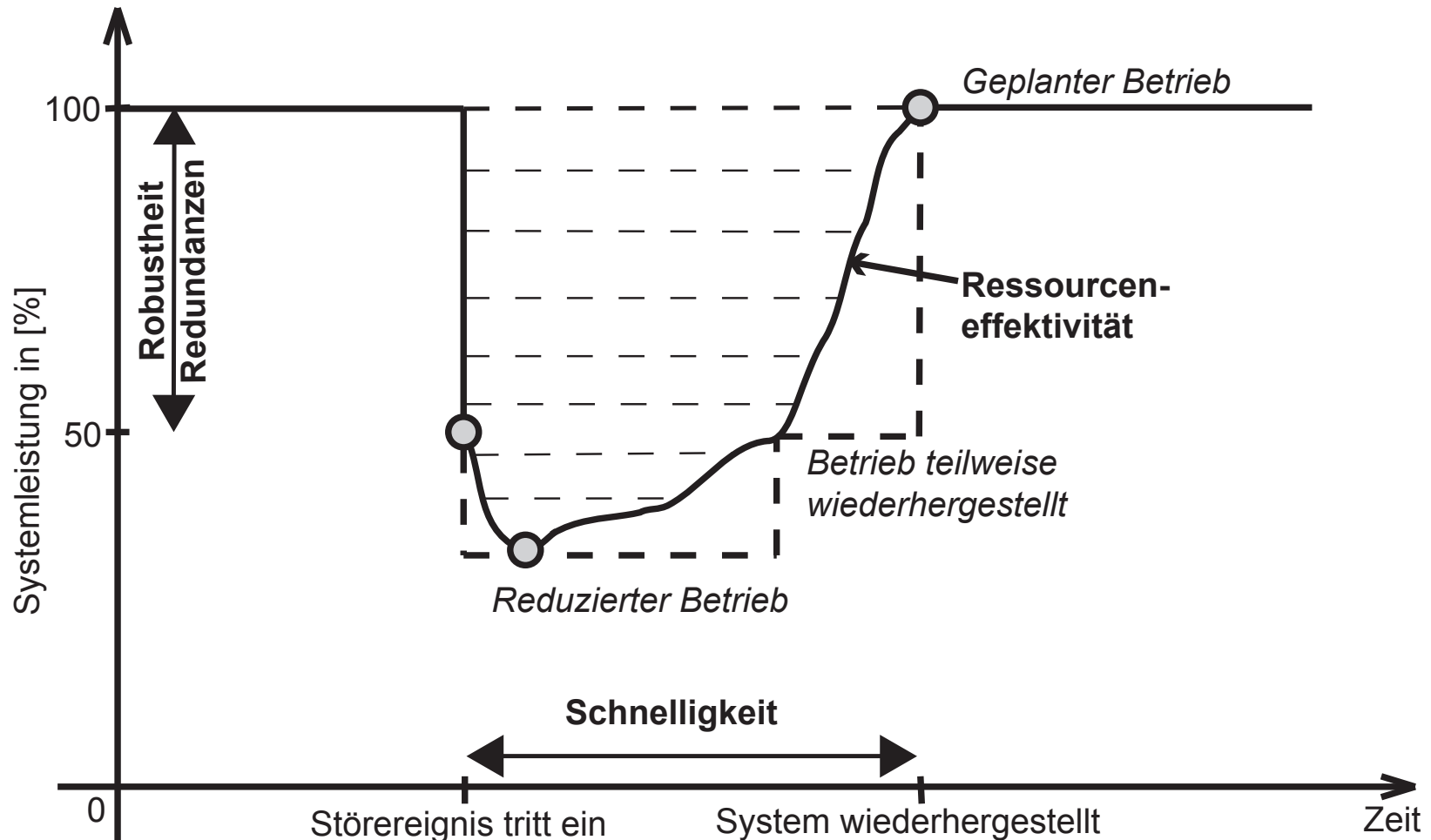
Ausgangslage - Hypothesen

Hypothese	Inhalt
1	Bahnnetze haben eine skalenfreie Topologie.
2	Die strukturelle und betriebliche Bedeutung von Elementen kann stark variieren .
3	Reduzierte Betriebszustände können systematisch generiert werden.
4	Das Ausmass der strukturellen und betrieblichen Wirkungen von Störungen hängt von zahlreichen Faktoren ab, wie z.B. der Anzahl gestörter Elemente...
5	Auch vermeintlich wenig bedeutsame Korridore tragen zur Netzstabilität bei.
6	Die Widerstandsfähigkeit von Bahnnetzen kann gesteigert werden.

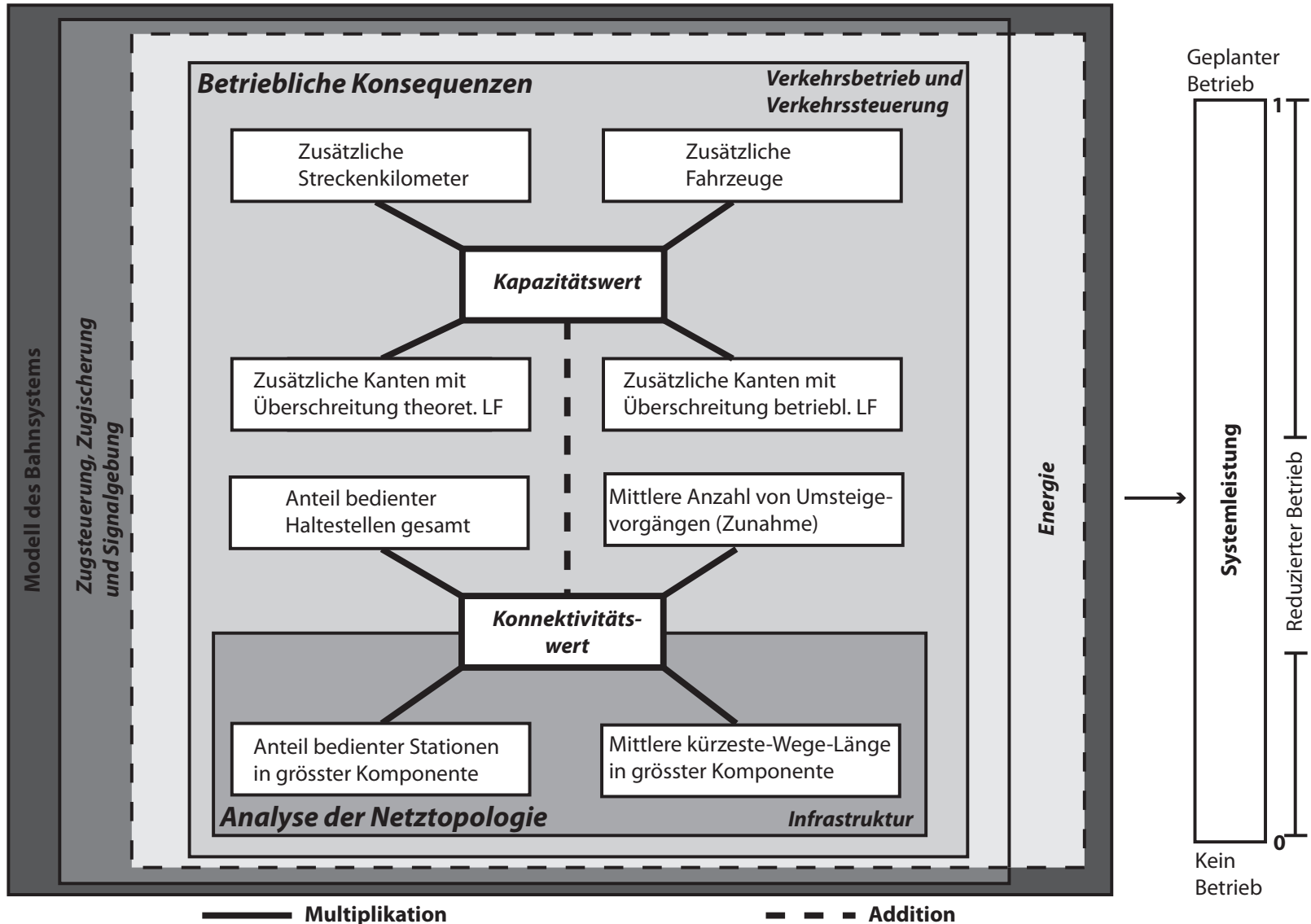
Vorgehen und Methoden



Vorgehen – Auswirkungen auf Systemleistung

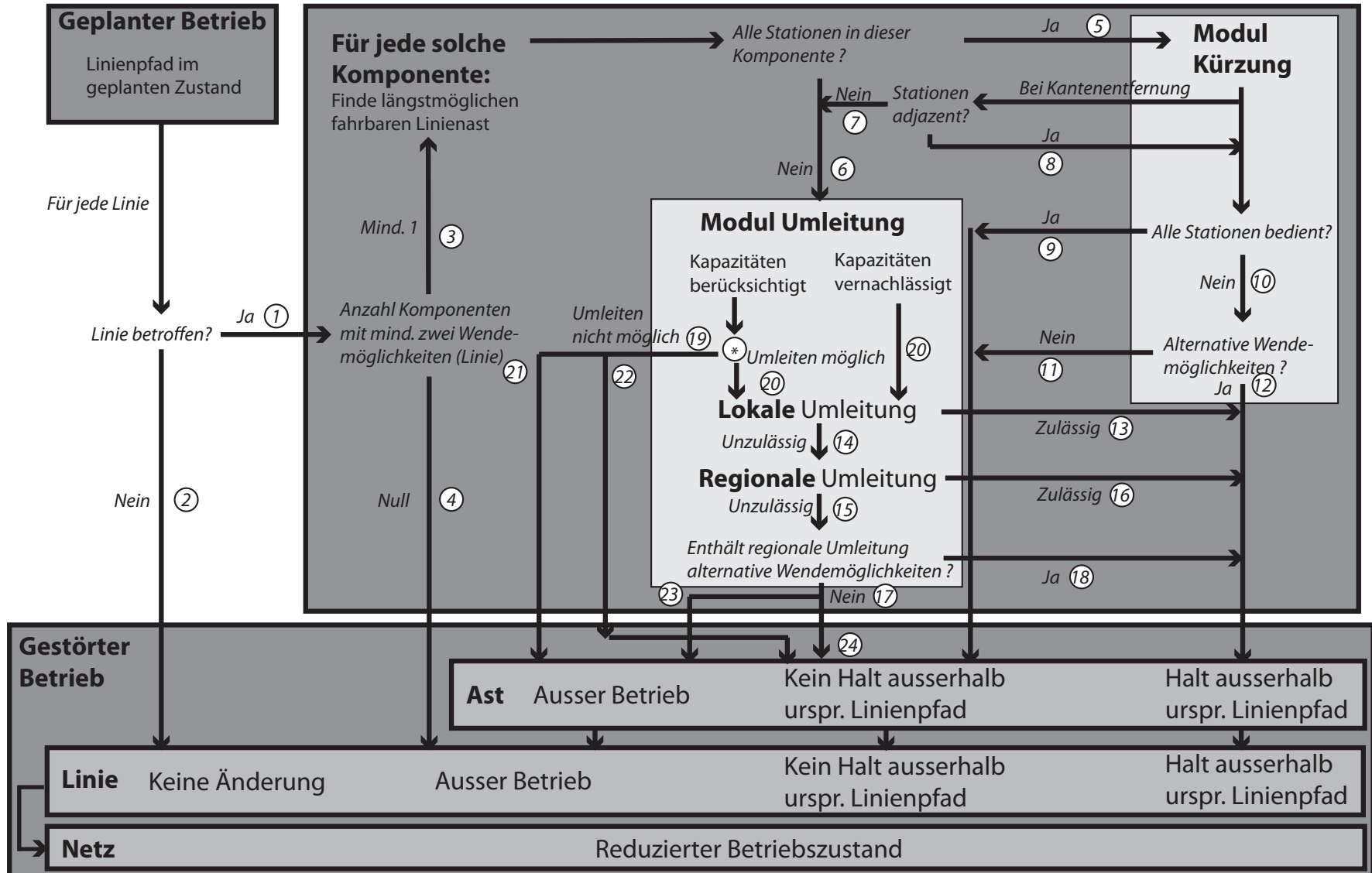


Vorgehen – Messung der Systemleistung

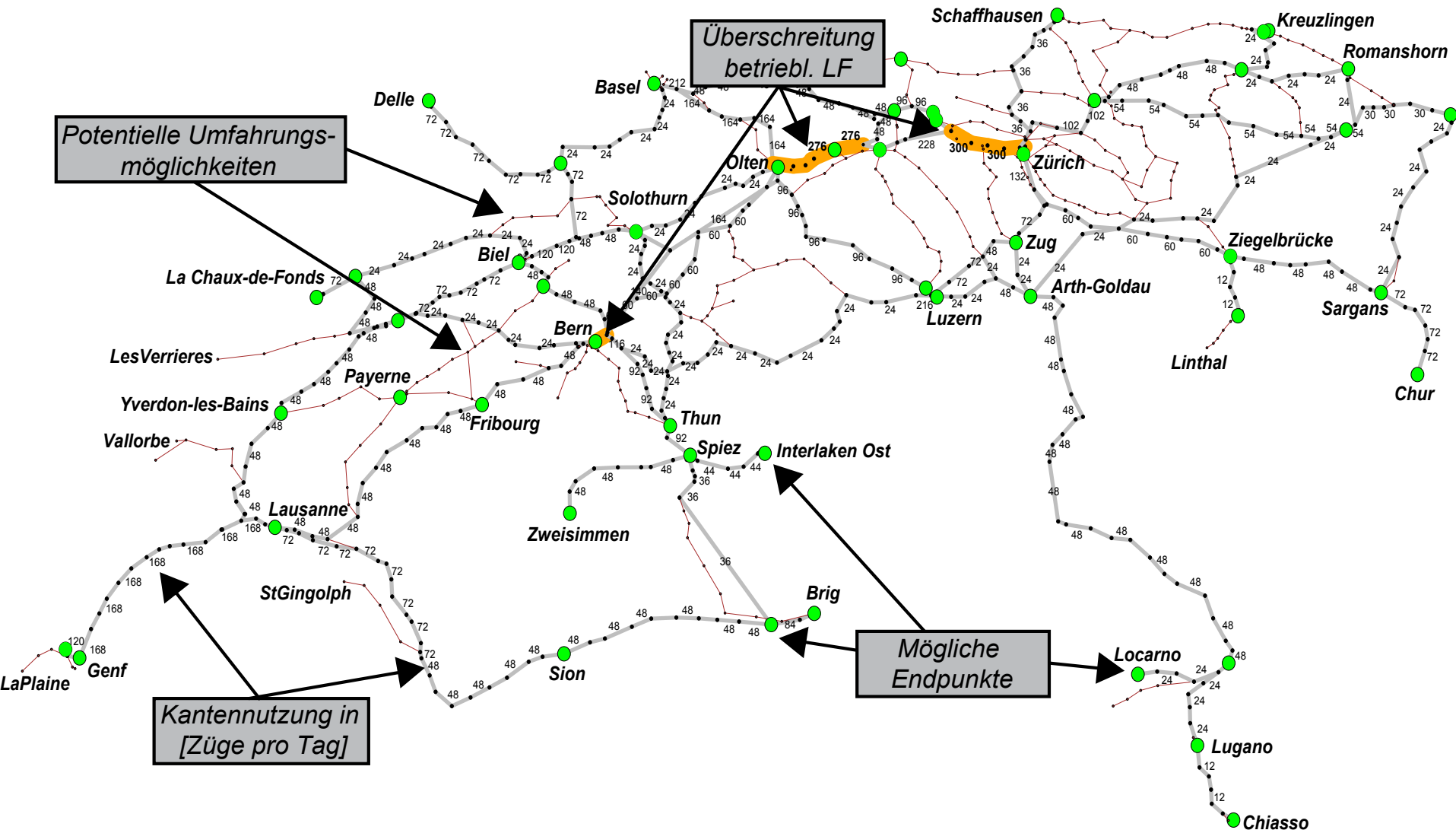


Vorgehen – Simulation Dispositionsentscheide

Berechnete Dispositionsmaßnahme

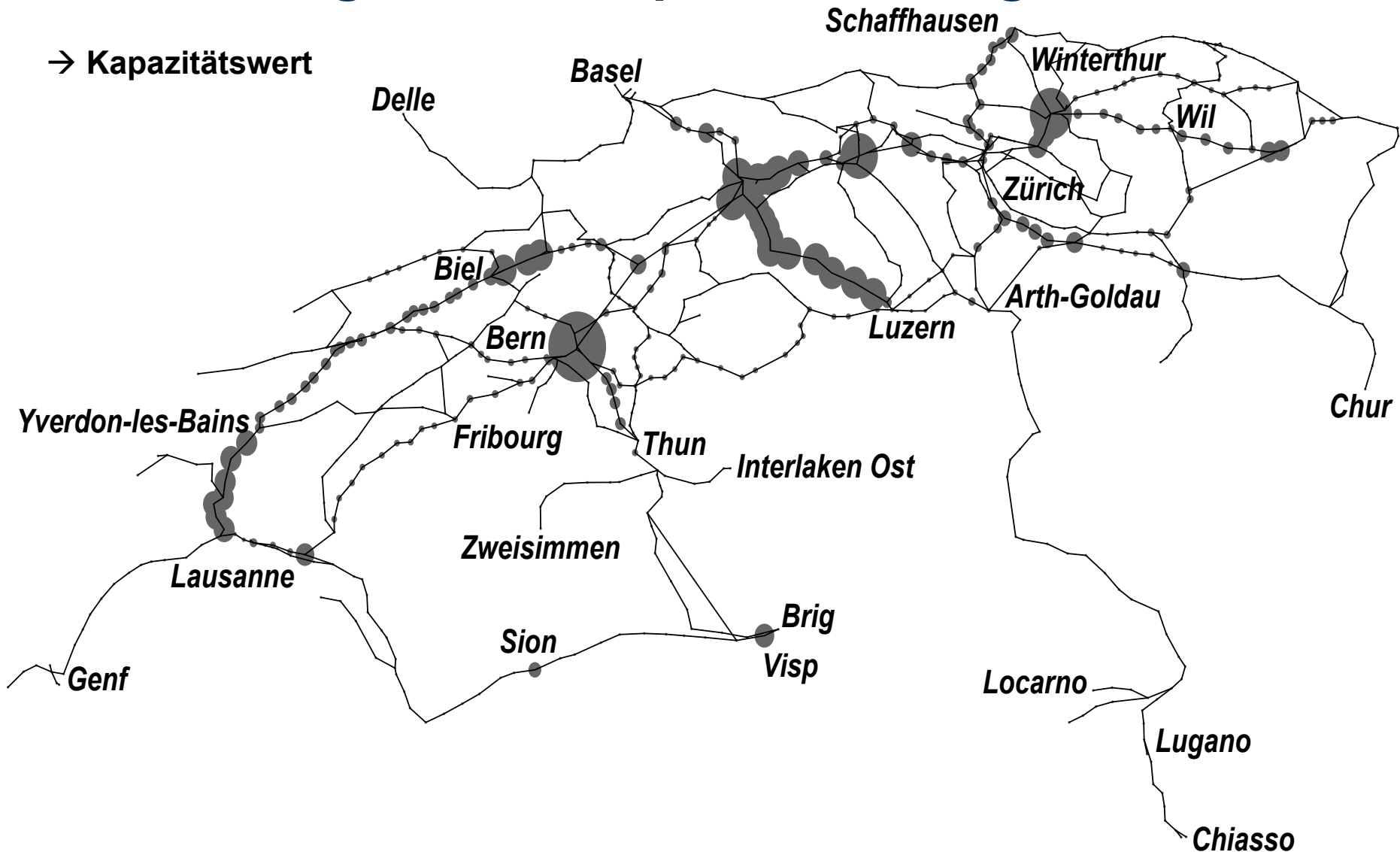


Anwendung – Normalspur Schweiz geplant



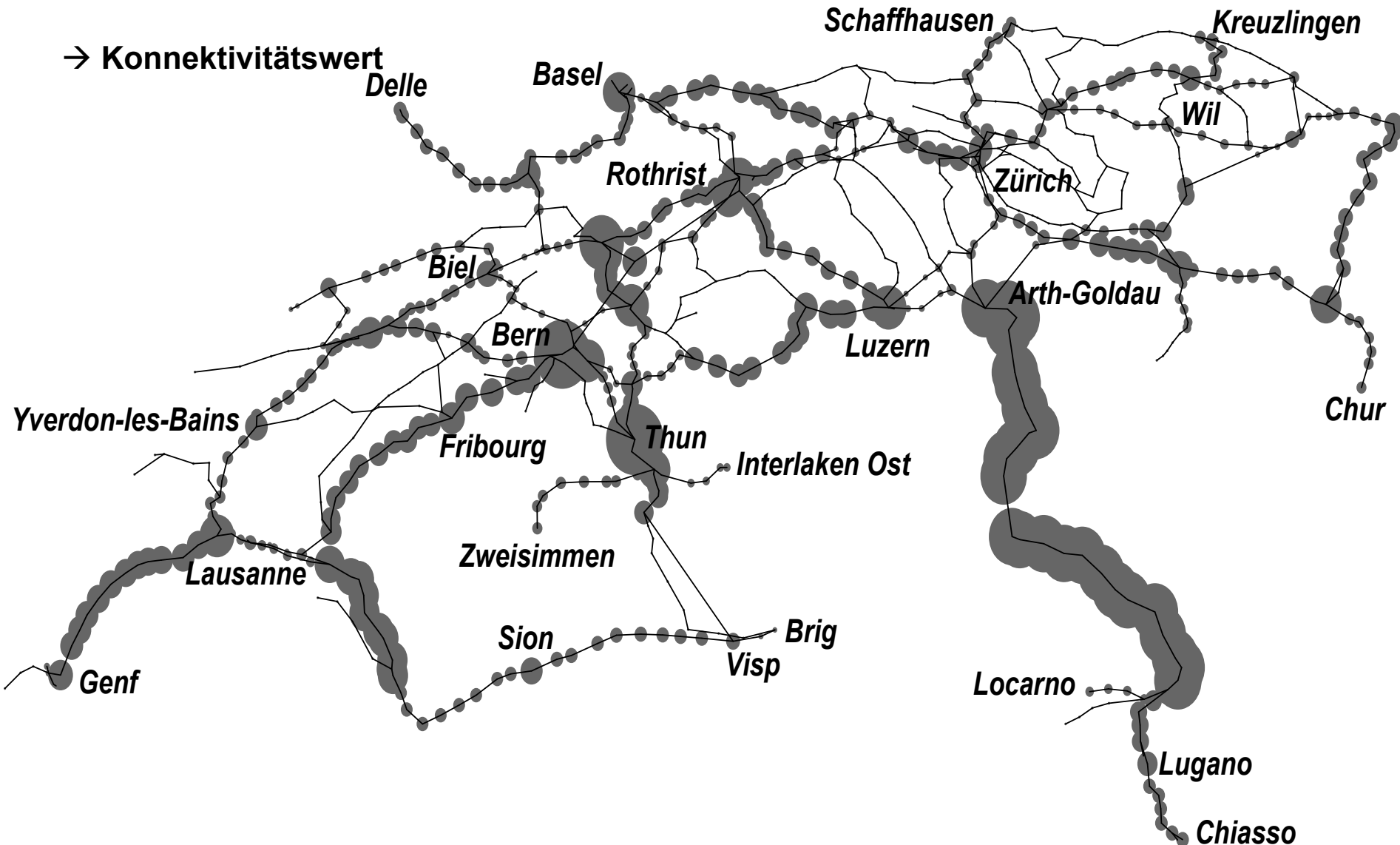
Anwendung – Normalspur Schweiz gestört

→ Kapazitätswert



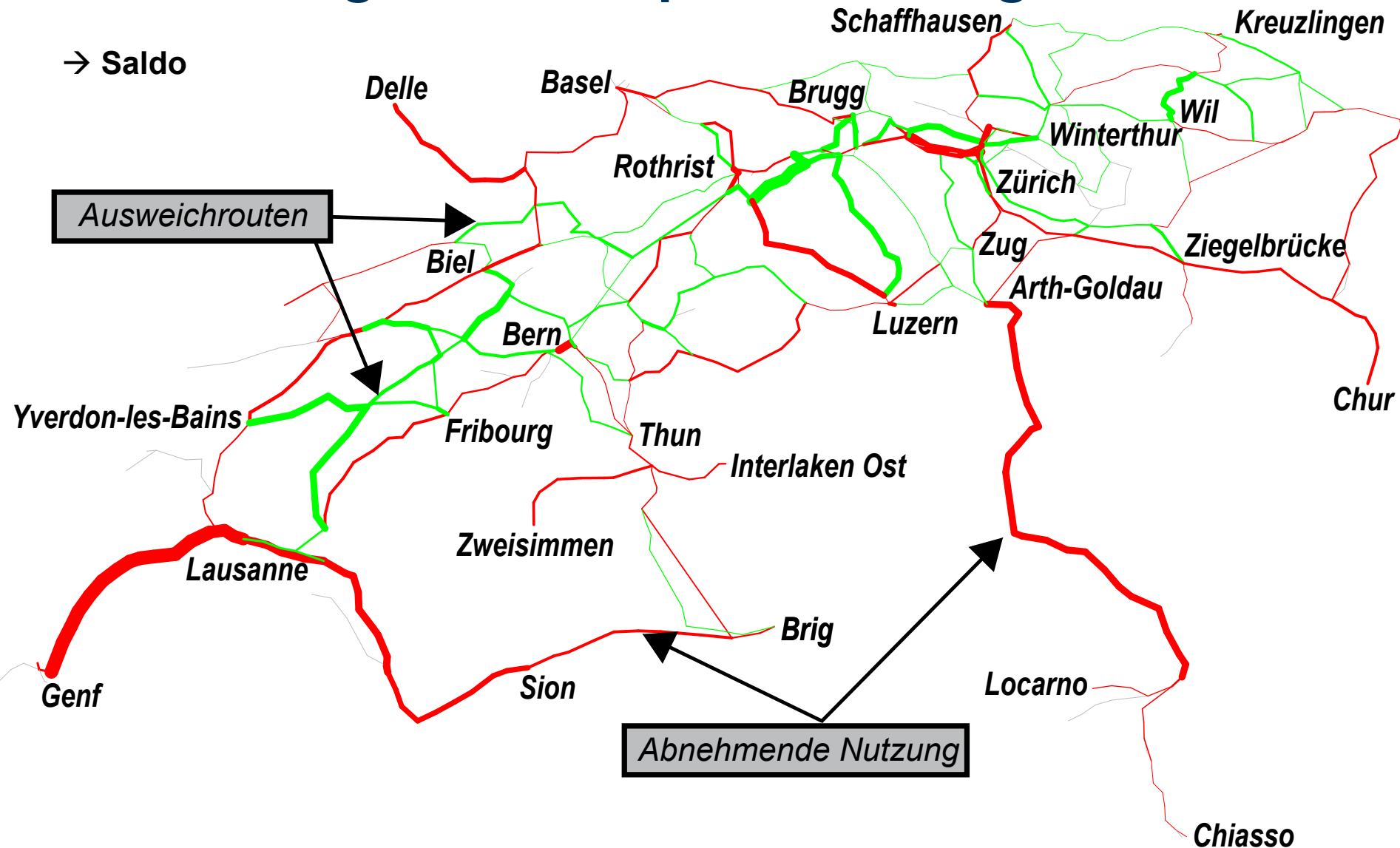
Anwendung – Normalspur Schweiz gestört

→ Konnektivitätswert



Anwendung – Normalspur Schweiz gestört

→ Saldo



Anwendung – Normalspur Schweiz gestört

→ Saldo (mit Kapazitäten)



Anwendung – Mehrere gleichzeitige Ausfälle

Network	<i>Swiss railway</i>			<i>Zurich tramway 2006</i>			<i>Zurich tramway 2025</i>		
Fraction of removed elements	0.1%	1 %	2 %	0.1%	1 %	2 %	0.1%	1 %	2 %
Line path not changed [%]	93.7	73.2	56.8	85.5	73.4	54.3	86.3	65.1	49.3
Line not longer operated [%]	0.4	1.9	3.5	0.05	0.1	0.3	0.04	0.1	0.5
No stops outside original line path [%] → Truncation	2.0	8.5	13.2	5.6	11.0	18.4	5.7	13.0	18.4
Stops outside original line path [%] → Rerouting	3.9	16.4	26.6	8.8	15.5	27.0	8.0	21.9	31.8

Anwendung – Stabilitätserhöhung

Getestete Massnahmen:

- Zusätzliche Fahrkanten
- Weitere mögliche Endpunkte (Wendeschleifen)
- Überlappung von Energie- und Steuerungsbezirken

Weitere Möglichkeiten:

- Alternative Linienführung
- Kapazitätserhöhung von (einzelnen) Kanten
- Verringerung der Fahrzeiten auf Kanten
- ...

Fazit - Ergebnisse

Hypothese Inhalt

- 1 Bahnnetze haben eine **skalenfreie** Topologie.
 - 2 Die strukturelle und betriebliche Bedeutung von Elementen kann stark **variieren**.
 - 3 Reduzierte Betriebszustände können **systematisch** generiert werden.
 - 4 Das Ausmass der strukturellen und betrieblichen Wirkungen von Störungen hängt von zahlreichen **Faktoren** ab, wie z.B. der Anzahl gestörter Elemente...
 - 5 Auch **vermeintlich** wenig bedeutsame Korridore tragen zur Netzstabilität bei.
 - 6 Die Widerstandsfähigkeit von Bahnnetzen kann **gesteigert** werden.
-

Fazit – SWOT - Analyse

- **Stärken:** Berücksichtigung betrieblicher Aspekte, Integration verschiedener Teilsysteme, Modularität
- **Schwächen:** Makroskopische Betrachtung, Systemabgrenzung, Vereinfachungen (Symmetrie), ad-hoc Lösungen
- **Chancen:** Erhöhtes Systemverständnis (Schwachstellen), Folgenabschätzung von Anpassungen
- **Gefahren:** Güte der Lösungen im Einzelfall, monomodale Betrachtungsweise, kein Expertensystem

Fazit – Erweiterungen, Grenzen

- **Anpassungen:** Anpassung von Eingangswerten, zusätzliche Linien, Kapazitätsrestriktionen von Knoten
- **Erweiterungen:** Dispositionsmaßnahmen, Kosten berücksichtigen, Teilausfälle abbilden, weitere Messgrößen
- **Grenzen:** Optimierte Lösungen, spezifische lokale Einflüsse und Expertenwissen, dynamische Prozesse

Fazit

1. Bisherige topologie-basierte Ansätze **unzureichend**.
2. Erarbeiten und anwenden einer Methode zur Analyse **betrieblicher** Störungsfolgen.

→ Diese Methodik kann erweitert und modifiziert werden.
3. Auch **vermeintlich** wenig bedeutende Elemente sind wichtig für die Systemstabilität.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit....

