

SVI Fachtagung Forschung

**Taktverdichtung in der Schweiz unter
Berücksichtigung des Knotenprinzips**

Raphael Karrer, 8. September 2022



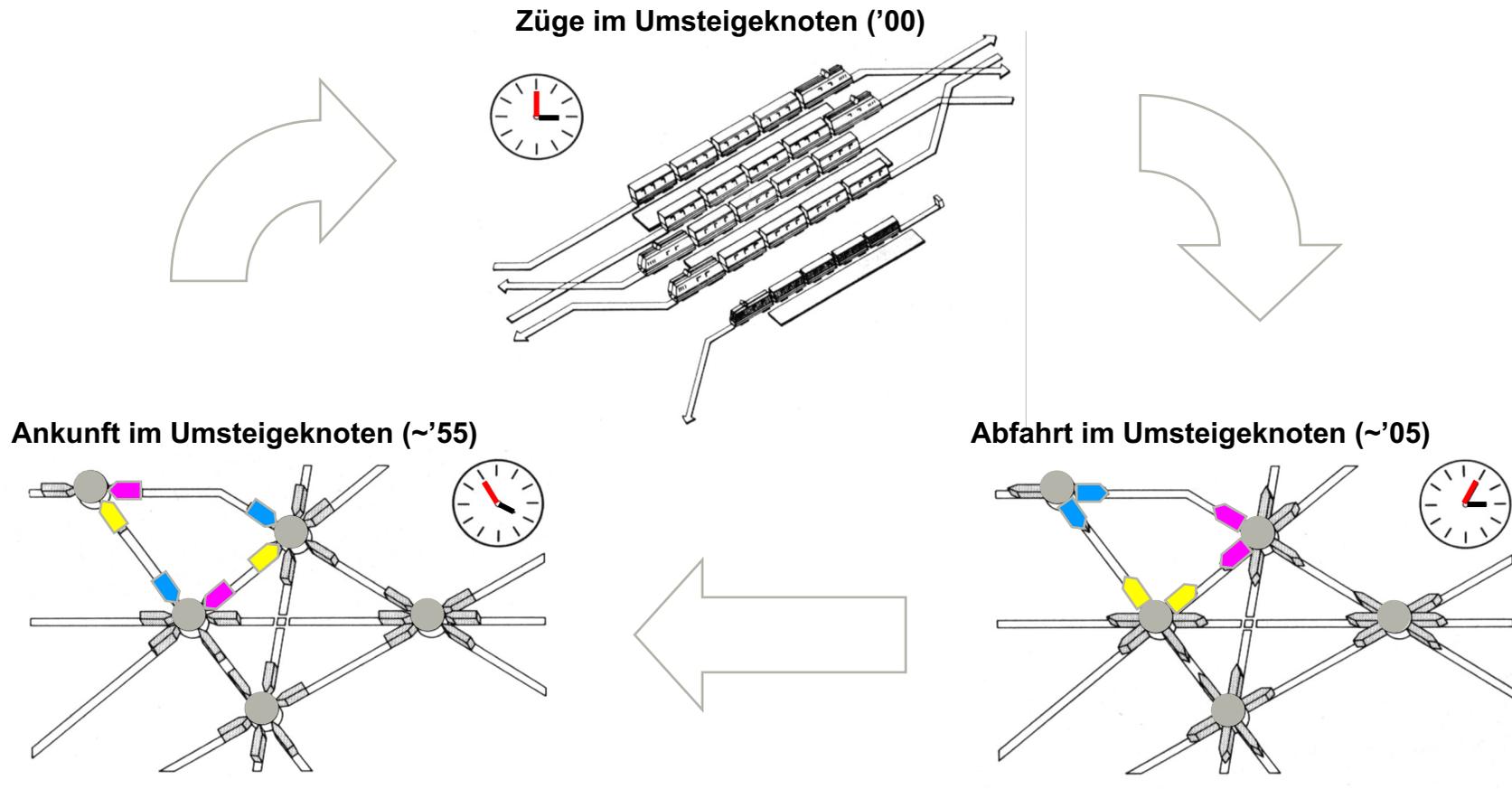
optimising railways

Öffentlich

Agenda

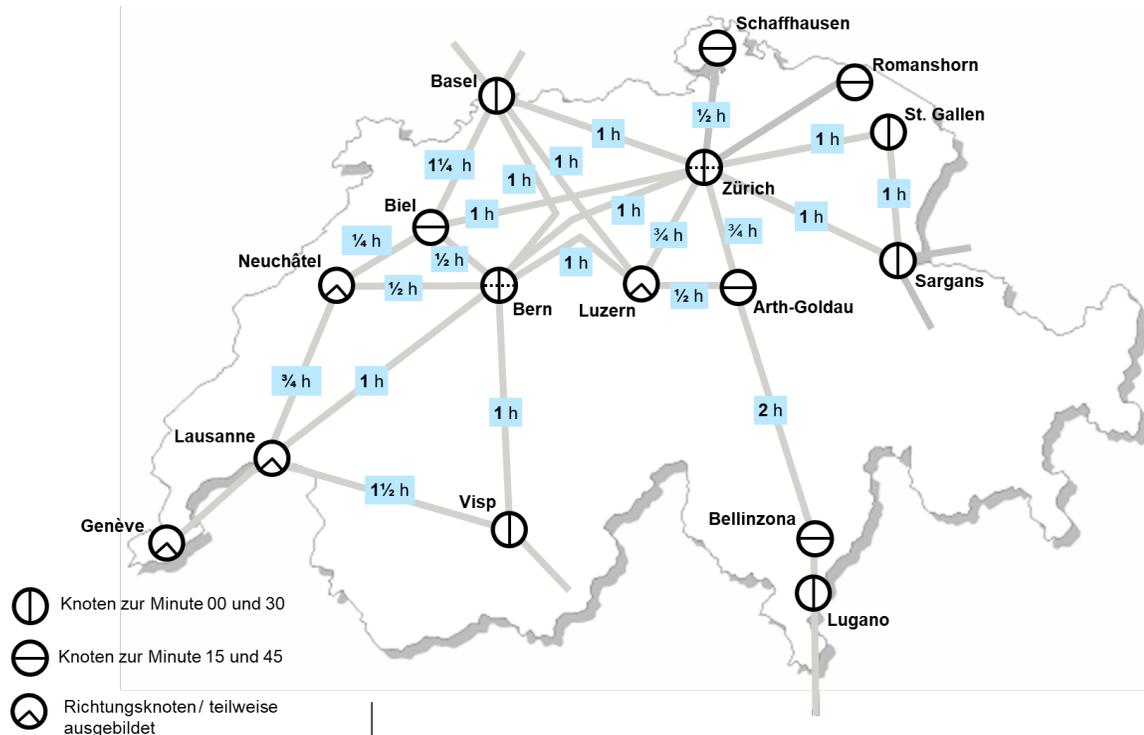
1. Ausgangslage und Fragestellung
2. Theoretische Betrachtungen an einem Modellknoten
3. Anwendungsfälle
4. Schlussfolgerungen

Was ist ein Anschlussknoten?



Voraussetzung: Taktfahrplan

- Taktfahrplan mit ausgeprägten Knoten = integraler Taktfahrplan
- Knoten im Schweizer Bahnnetz gemäss Ausbauschnitt 2035:



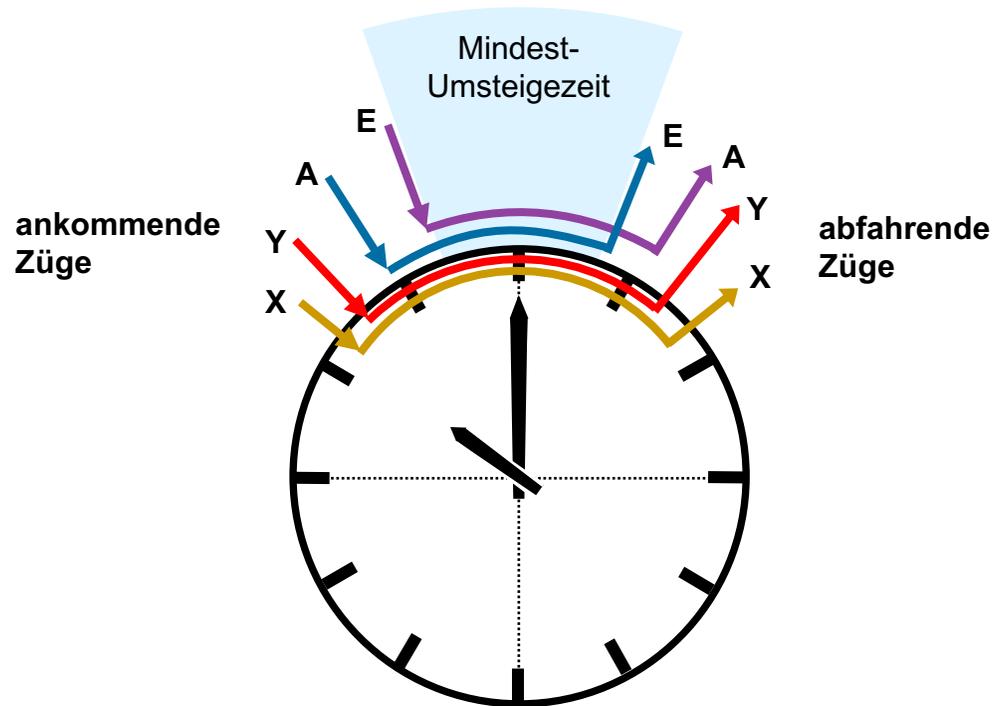
Vorteile des integralen Taktfahrplans

- Aufeinander abgestimmtes ÖV-Angebot, Fernverkehr und/oder Regionalverkehr
- optimale Reisezeiten in der Fläche
- Bündelung der Nachfrage auf stark frequentierten Abschnitten und damit hohe Effizienz

Prinzip eines Vollknotens

Prinzip

- Von jedem ankommenden Zug kann auf jeden abfahrenden Zug (ausser Gegenrichtung) umgestiegen werden.



Mögliche Nachteile:

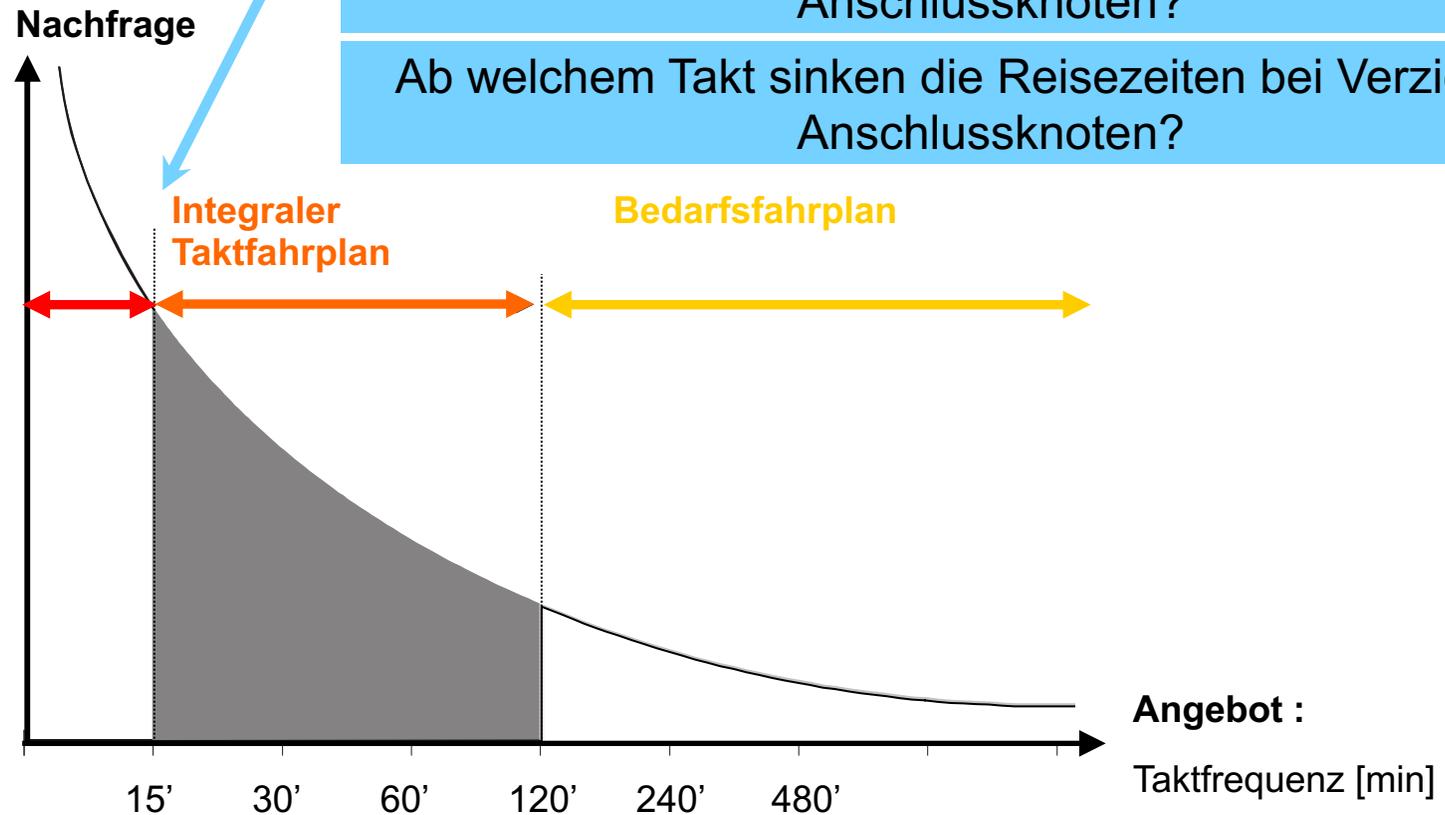
- Hohe Spitzenbelastungen von Knotenbahnhöfen und damit viele Gleise notwendig
- Längere Standzeiten von Zügen in Knotenbahnhöfen und damit Zeitverlust für «Durchfahrer»
- Bei 15'-Takten: Problematik sich überschneidender Anschlussplänen in Knoten



Sind Anschlussknoten bei dichten Takten noch sinnvoll?

Forschungsfrage: Wo liegt der Anwendungsbereich von Anschlussknoten beim Fernverkehr in der Schweiz?
Überwiegen bei dichteren Takten die Nachteile von Anschlussknoten?
Ab welchem Takt sinken die Reisezeiten bei Verzicht auf Anschlussknoten?

Taktfahrplan wie im städtischen Verkehr, ohne Anschlussknoten

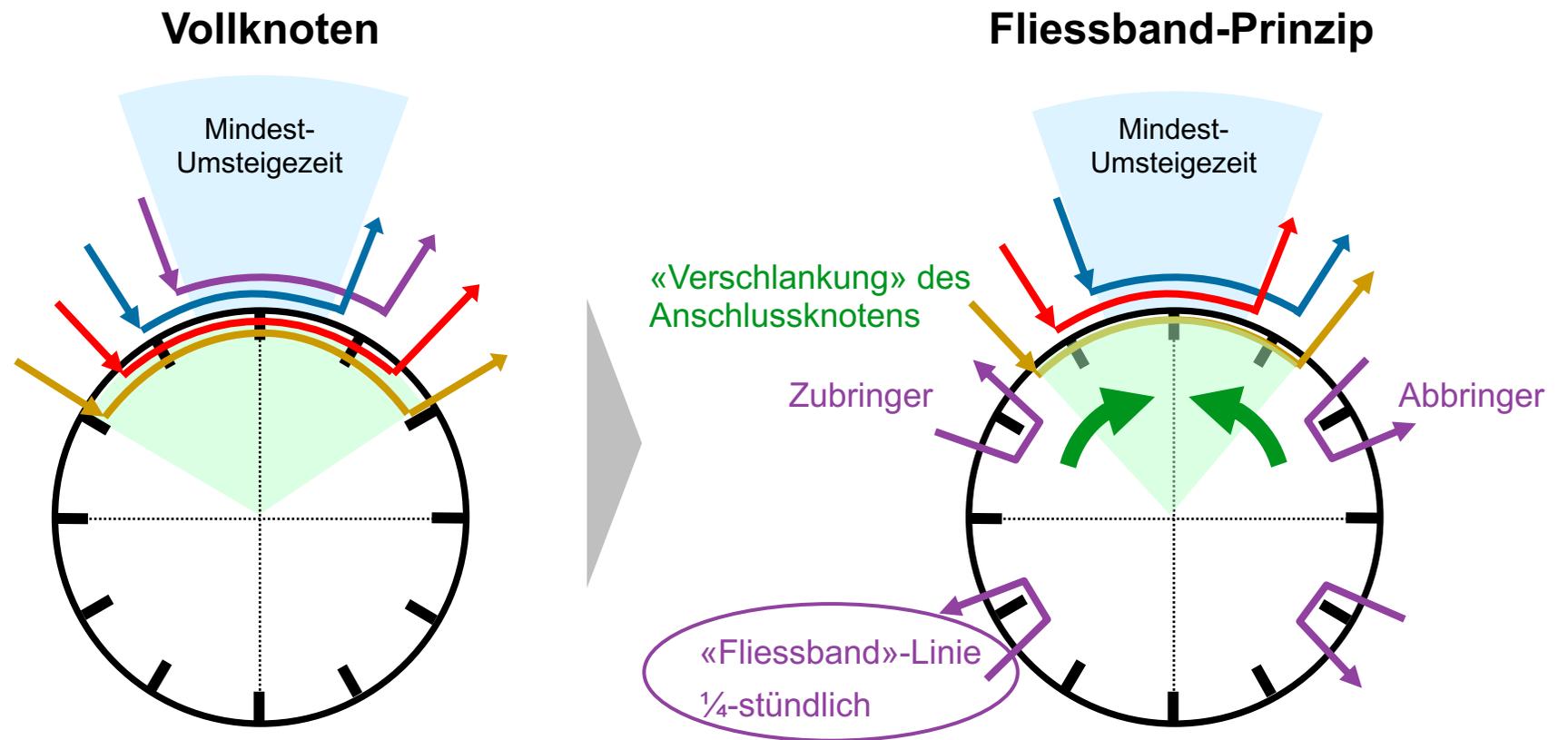


Alternativen zum Vollknoten und weitere Einflussgrößen

Einflussgrößen	mögliche Ausprägungen
Ausgestaltung Knoten	<ul style="list-style-type: none"> – Vollknoten – Richtungsknoten, – «Fließband», – Korrespondenz, – aufgelöster Knoten
Takte der Linien	60, 30, 20, 15, 10, 7.5, 5 Minuten
Takt des Anschlussknotens	60, 30, 20, 15, 10, 7.5, 5 Minuten
Anzahl Produktkategorien / Haltepolitik	1 bis 4 Produktkategorien
Durchbindungen von Linien im Knoten resp. Anteil der Durchfahrer	<ul style="list-style-type: none"> – Über wiegend durchgebunden, viele Durchfahrer – Letzte / erste Linie im Anschlussknoten durchgebunden, Durchfahrer entsprechend – Keine Durchbindungen (Shuttle), keine Durchfahrer

Das Fließband-Prinzip

- Eine Linie verkehrt mit doppelter Taktdichte und zeitlich versetzt zur Anschlusspinne als Zubringer und Abbringer
- mit minimaler kommerzieller Haltezeit
- Von / nach der «Fließband»-Linie sind die Übergangszeiten verlängert.

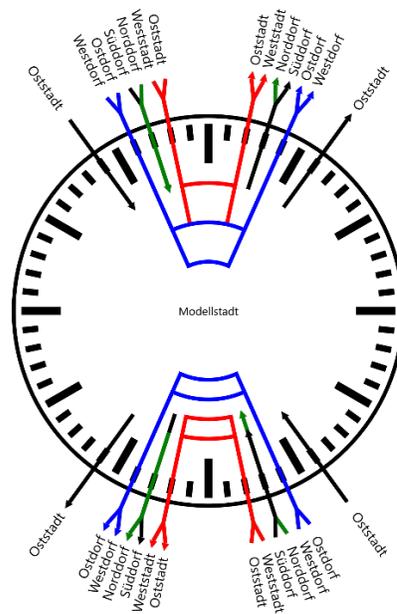


Aufgelöster Knoten

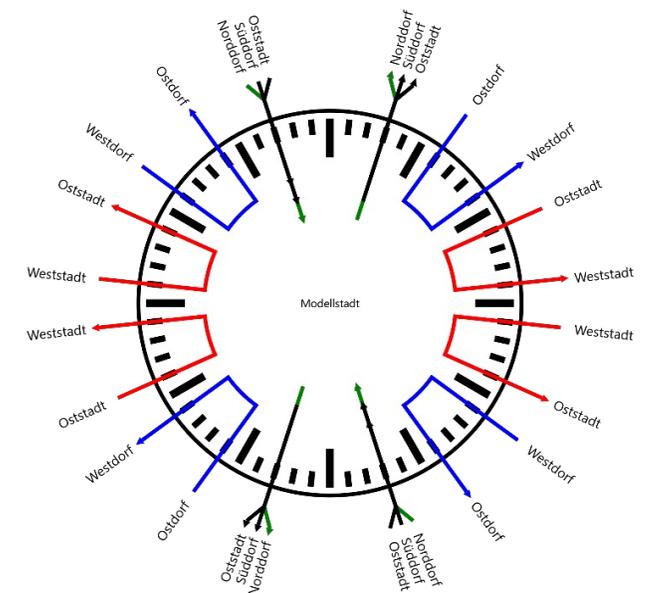
Erwartung beim Wechsel zu einem aufgelösten Knoten bei dichten Takten:

- Durchfahrer profitieren von kurzen Standzeiten der Züge
- Umsteigezeiten verlängern sich, bei dichten Takten allerdings nicht stark
- Gleichmässige Auslastung der Knoteninfrastruktur

Vollknoten



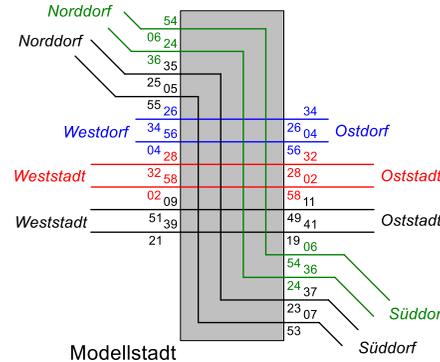
Aufgelöster Knoten



Berechnungen Verlustzeiten am idealisierten Modellknoten

3 modellierte Knotentypen, rechts dargestellt Typ III mit

- 3 Fernverkehrslinien
- 2 Regionalverkehrslinien



Modellierte Umsteigeranteile

- Zwischen 0 und 100%

Modellierte Takte je Linie

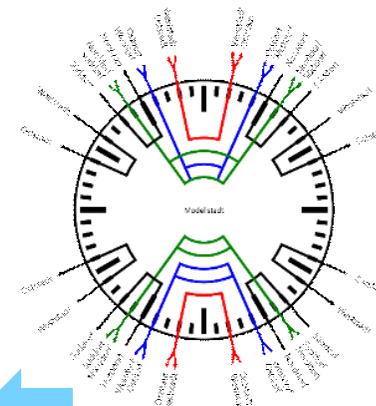
- Fernverkehr zwischen 30' und 7.5'
- Regionalverkehr zwischen 30' und 7.5'
- In jeweils verschiedener Kombination

Verlustzeit der Fahrgäste im Knoten?

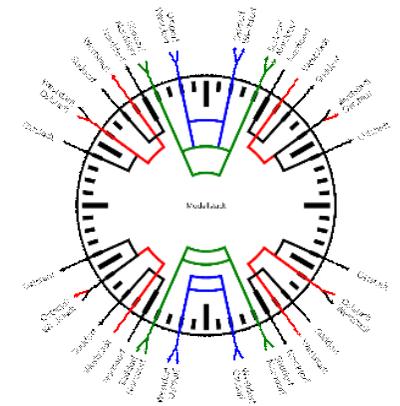
4 modellierte Knotentypen

Anschlussuhr bei 30'-Takten dargestellt:

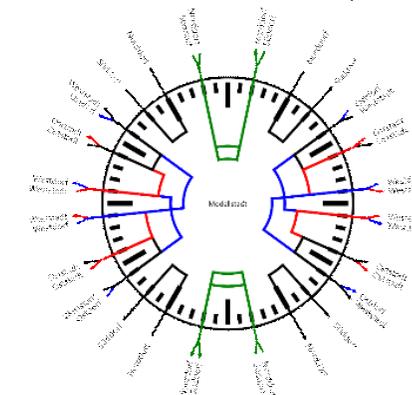
Vollknoten
(IC im Knotentakt)



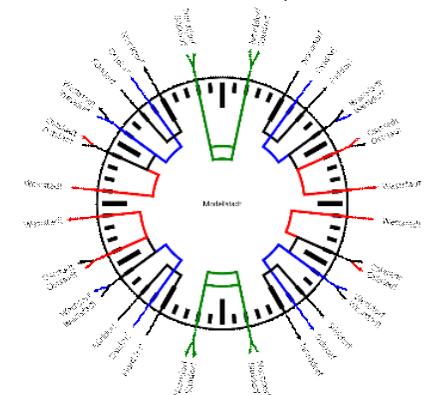
Fließband
(IC nicht im Knotentakt)



Korrespondenz
(IC/IR nicht im Knotentakt, Anschluss IC/IR)



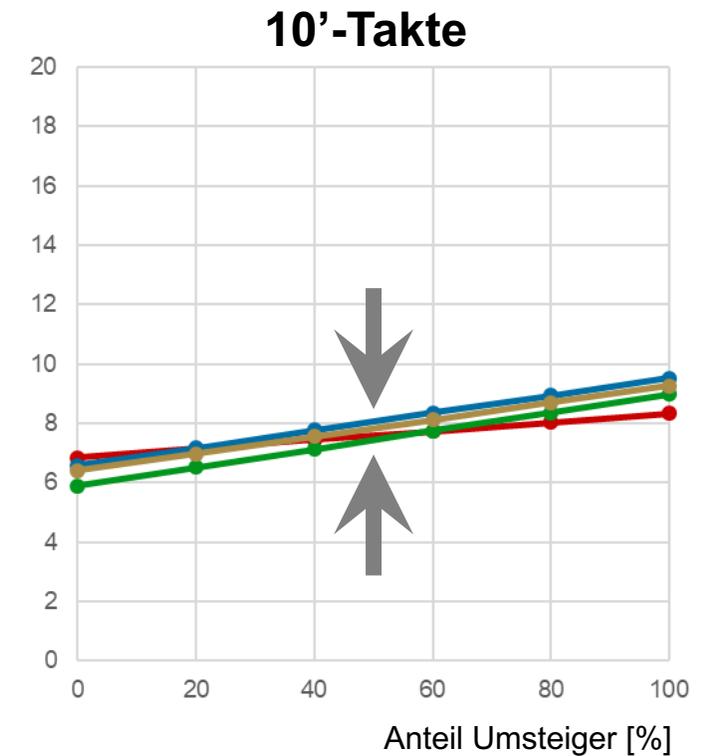
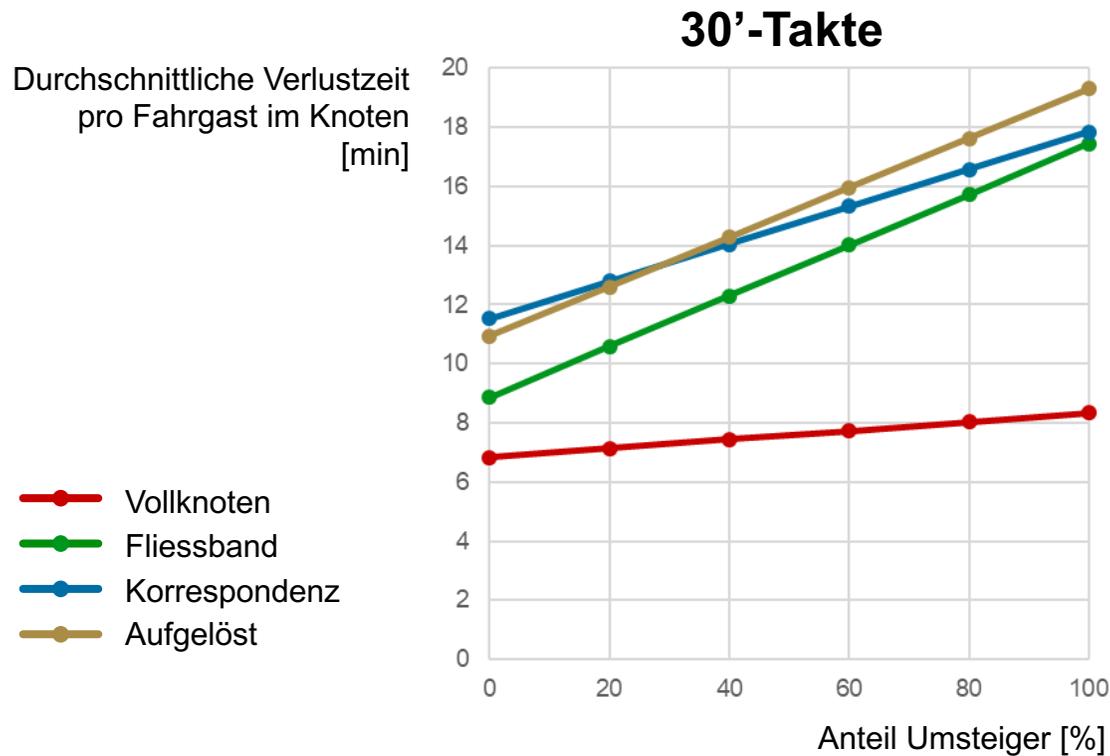
Aufgelöster Knoten
(IC/IR nicht im Knotentakt)



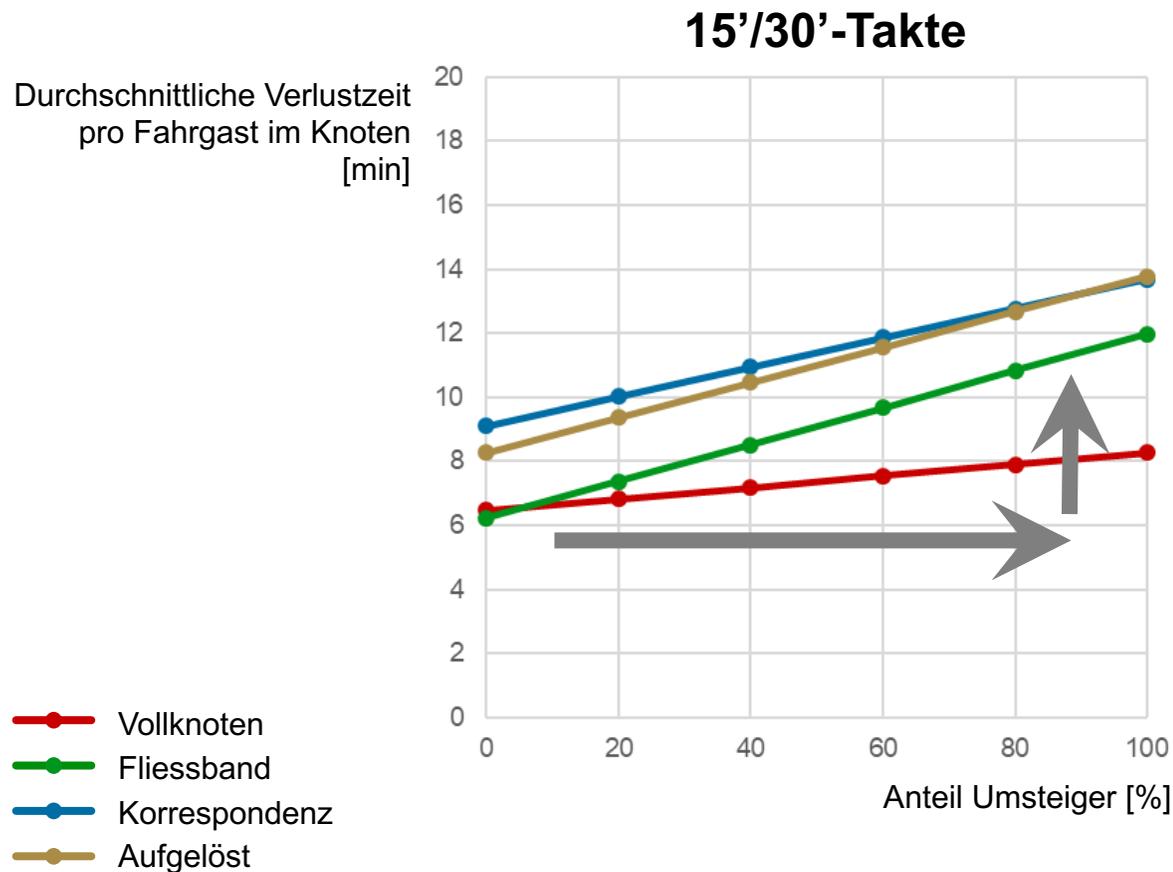
Ausgewählte Erkenntnisse

Unterschied zwischen den Knotentypen

- Je dichter der Takt, desto kleiner der Unterschied zwischen den Knotentypen.



Ausgewählte Erkenntnisse Umsteiger

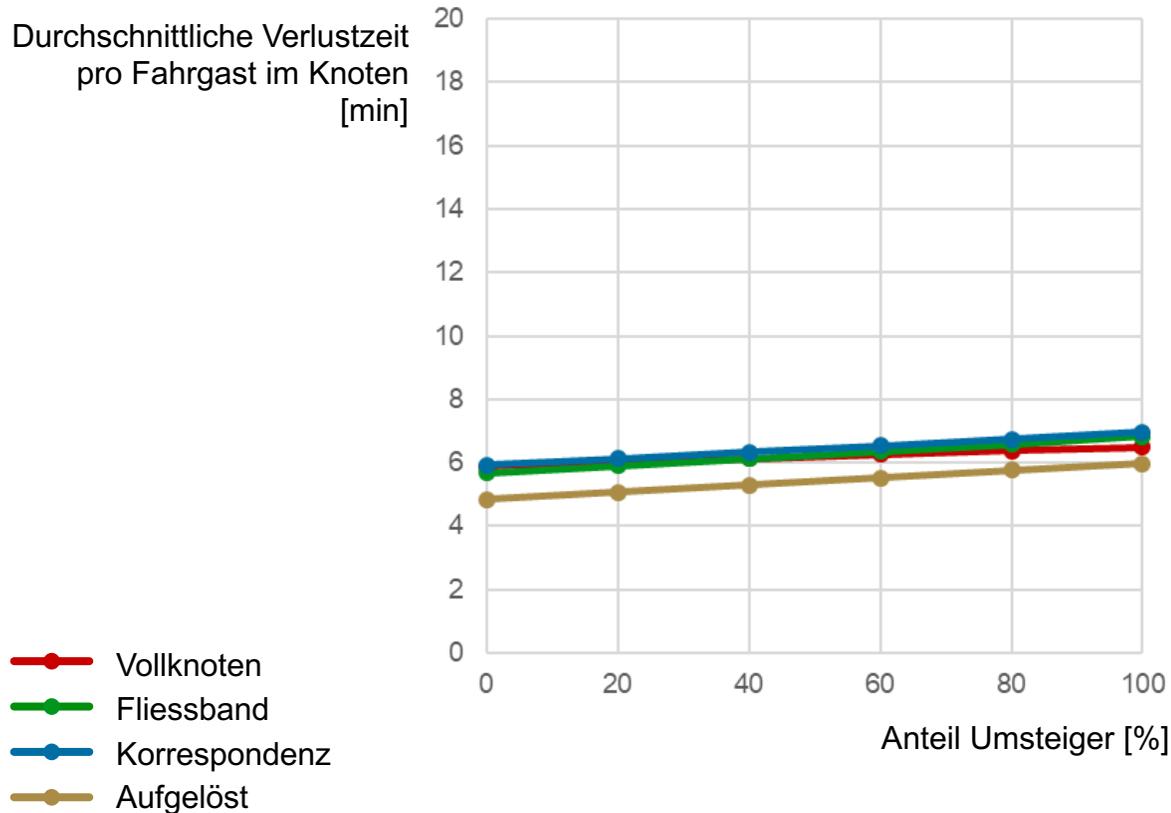


- Bei wachsendem Anteil Umsteiger wächst die durchschnittliche Verlustzeit im Knoten
- Der Vollknoten bleibt dabei verhältnismässig konstant
- Alle anderen Knotenformen steigen etwa linear mit verschiedenen Steigungen an,

Ausgewählte Erkenntnisse

Sehr dichte Takte

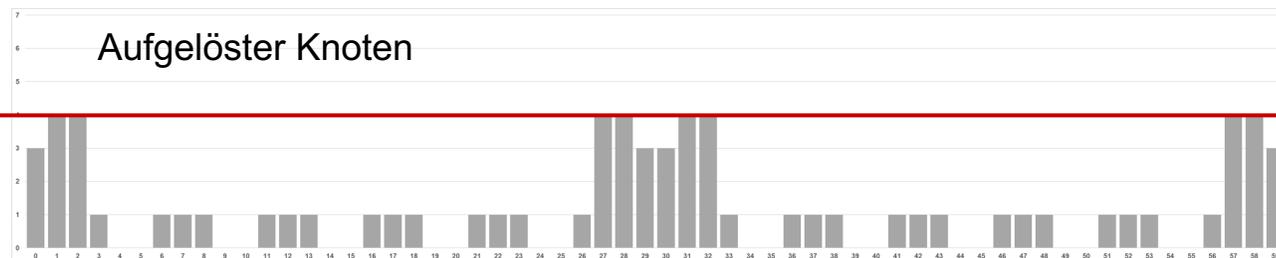
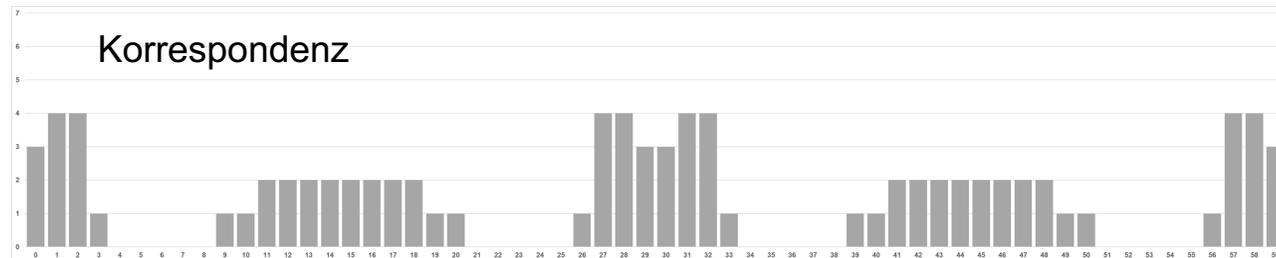
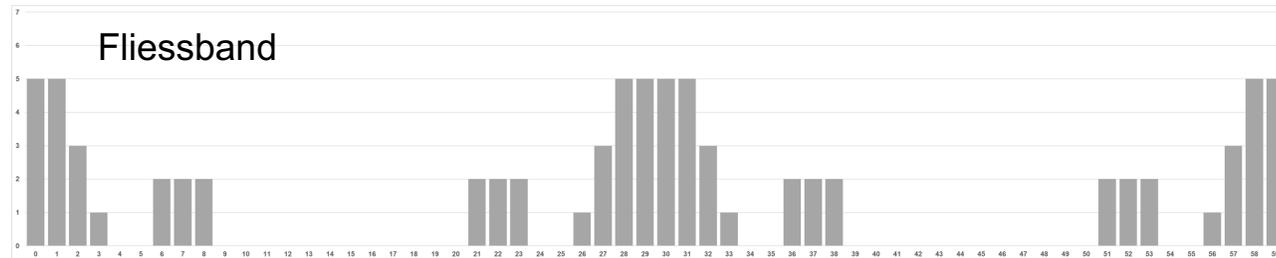
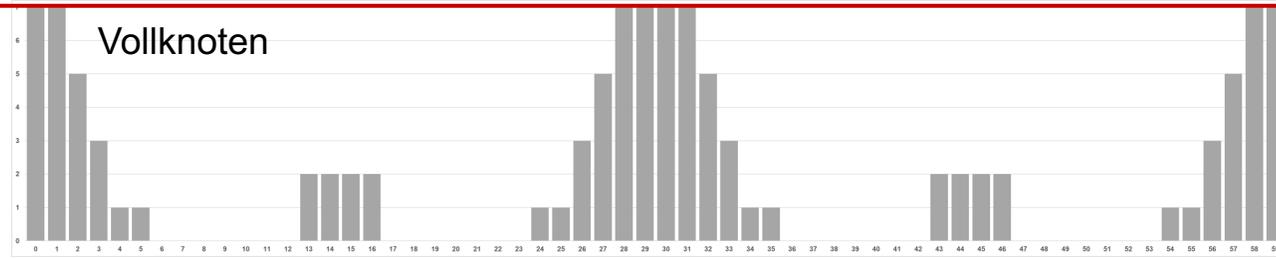
7.5'/10'-Takte



- Im Bereich von 10'- und 7.5'-Takten (Frequenz von städtischen Verkehrsmitteln) schneidet der aufgelöste Knoten am Besten ab
- kürzeste Haltezeiten und gleichzeitig weiterhin vorhandene Anschlüsse

Ausgewählte Erkenntnisse: Gleichmässigere Belastung der Perrongleise bei Knotenauflösung

7 Perrongleise



4 Perrongleise

Szenarien für die Testplanung in einem Musternetz

6 Szenarien im «interessanten» Bereich von 15'-Takten und im Vergleich zum Ausbauschnitt 2035 mit 30'- und teilweise 15'-Takten



ANWENDUNGS- FÄLLE

Beispiel Szenario 15/15-Vollknoten in Bern

Verkehrsarten

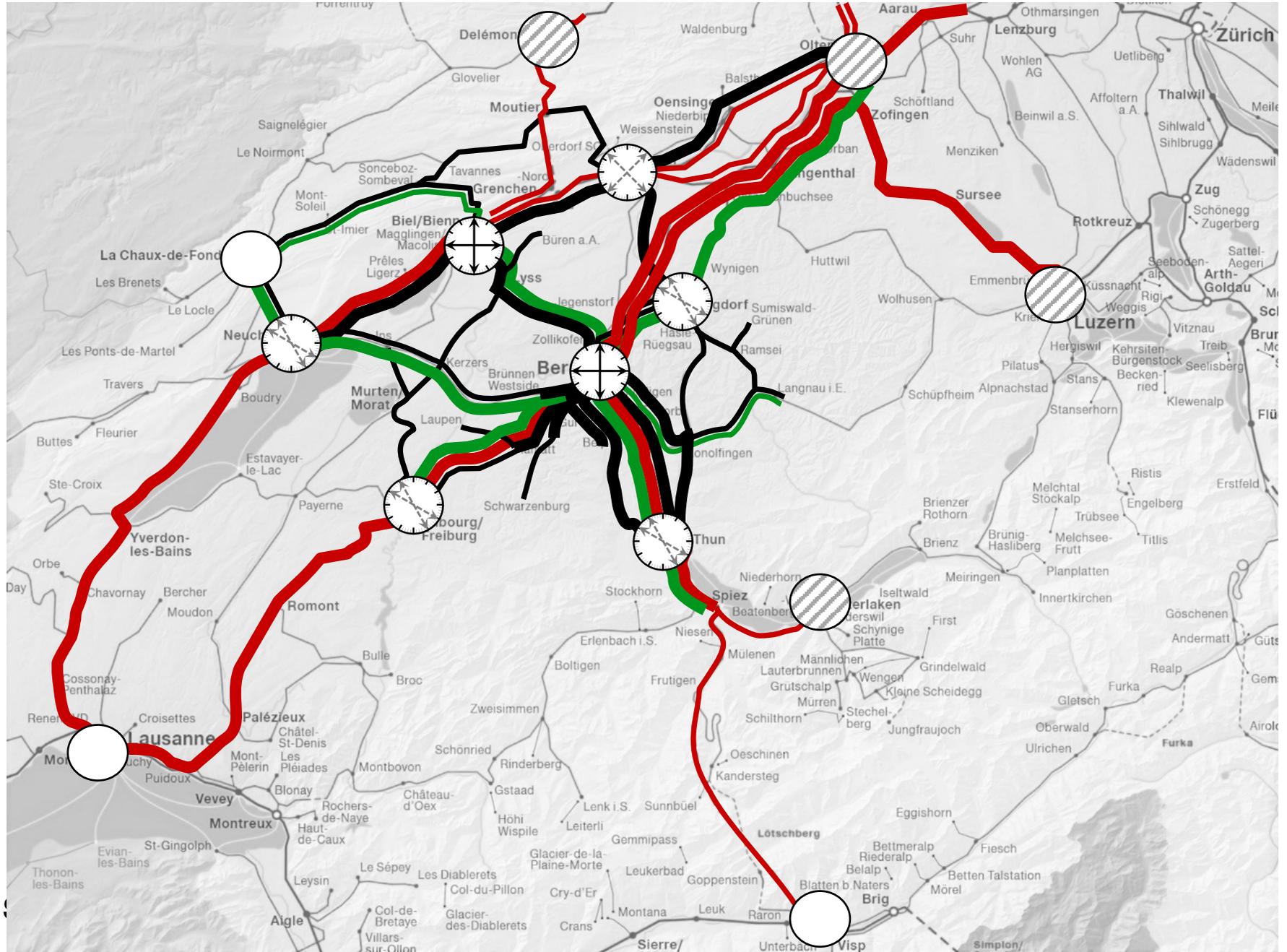
- Expressverkehr
- Beschleunigter Verkehr
- Regionalverkehr

Angebotsdichte

- 30'-Takt
- 15'-Takt

Knotentyp

-  Vollknoten (00/30 oder 15/45)
-  Fließband / Achtelknoten
-  Richtungsknoten / Korrespondenz
-  aufgelöster Knoten
-  Knoten, nicht beplant (kein Anpassungsbedarf)
-  Knoten, nicht beplant (Anpassungsbedarf)



ANWENDUNGS- FÄLLE

Beispiel Szenario 15/15 aufgelöster Knoten Bern

Verkehrsarten

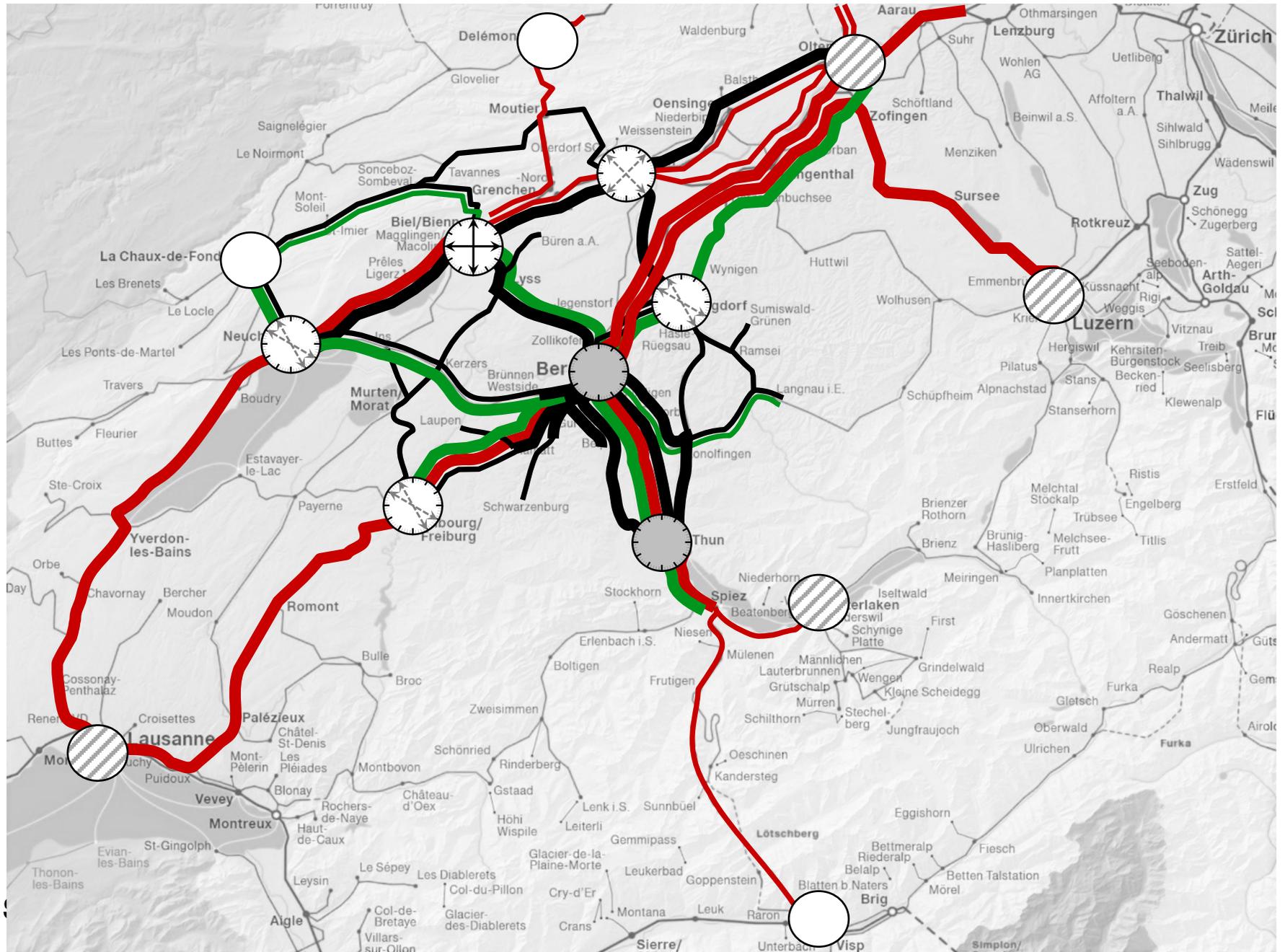
- Expressverkehr
- Beschleunigter Verkehr
- Regionalverkehr

Angebotsdichte

- 30'-Takt
- 15'-Takt

Knotentyp

-  Vollknoten (00/30 oder 15/45)
-  Fliessband
-  Richtungsknoten/
Korrespondenz
-  aufgelöster Knoten
-  Knoten, nicht beplant
(kein Anpassungsbedarf)
-  Knoten, nicht beplant
(Anpassungsbedarf)



Vergleich der Angebotsqualität bei 15'-Takten

Werte sind mit
der Nachfrage
gewichtet

	15/15-Vollknoten	15/15-Fliessband	15/15-aufgelöst
Reisezeit im Netz	100%	99.8%	99.4%
Reisezeit aller Verbindungen via Bern	100%	99.9%	98.7%
Verlustzeit im Knoten Bern (Durchschnittlich)	9.1 Minuten 100%	8.9 Minuten 97.5%	8.2 Minuten 90.0%
Anzahl Umstiege pro Verbindung	100%	99.2%	98.9%

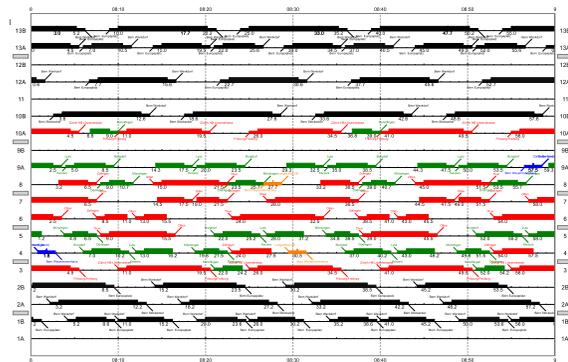
- Fliessband-Prinzip etwa gleichwertig wie Vollknoten
- Knotenauflösung mit leicht besseren Werten

Kapazität / Infrastrukturbedarf

Gegenüberstellung Mengengerüste Infrastrukturausbau:

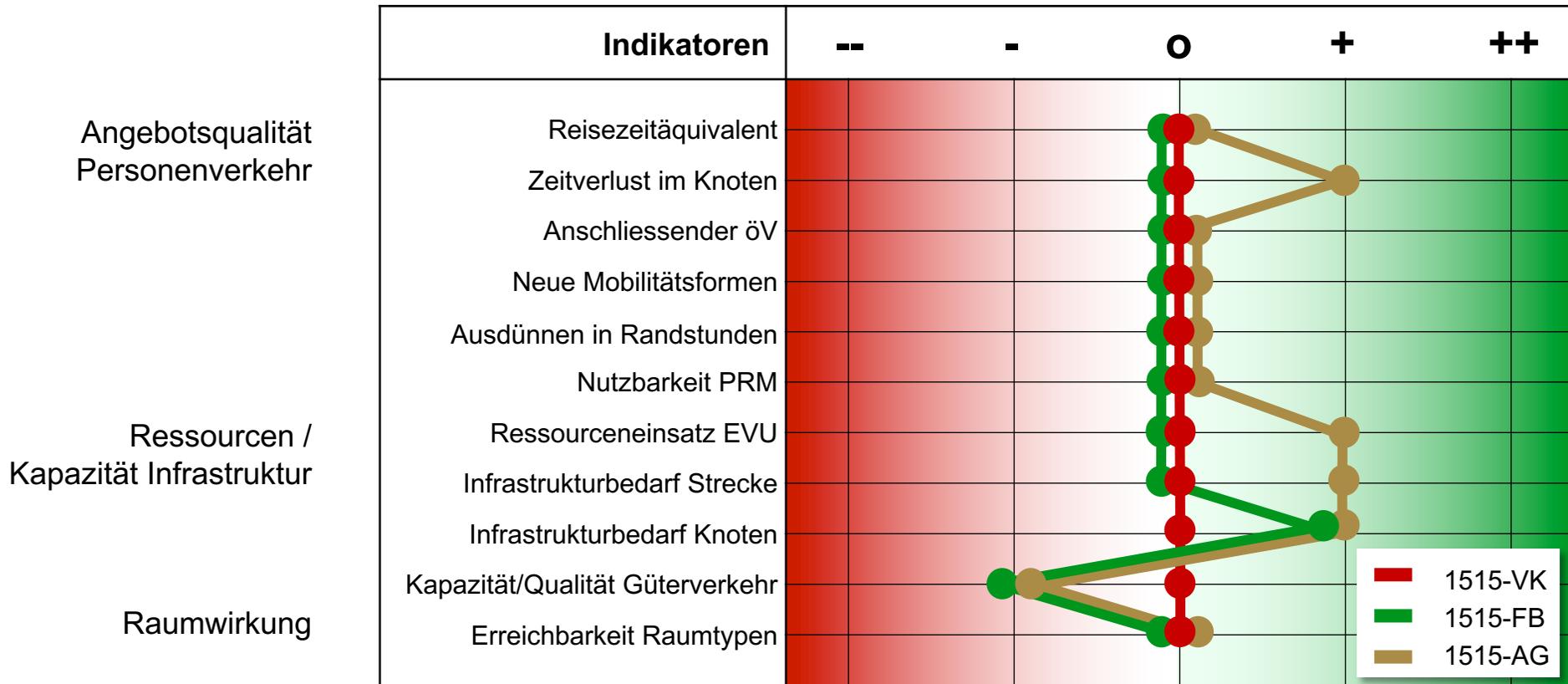
	Entflechtungs- bauwerk [Anzahl]	Zusätzliches Gleis auf der Strecke [km]	Ausbau Bahnhof klein [Anzahl]	Ausbau Bahnhof mittel [Anzahl]	Ausbau Bahnhof gross [Anzahl]
15/15 VK	2	74	23	6	1
15/15 FB	2	72	19	7	0
15/15 AG	2	58	17	9	0

Beispiel:
Belegung Gleise
Bahnhof Bern



- ➔ Ein aufgelöster Knoten benötigt am wenigsten Infrastruktur; szenarienbedingt wurde das Konzept u.a. darauf ausgelegt
- ➔ Mit einem Fließband-System kann unter Umständen ein Bahnhofsausbau vermieden werden; im übrigen ist ein ähnlich hoher Infrastrukturbedarf zu erwarten

Beurteilungsprofile Anwendungsfälle bei 15'-Takten



Vollknoten
als Vergleichsbasis 0

Anwendungsbereiche Knotentypen

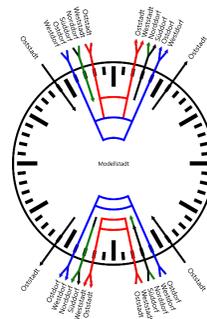
Anwendungsbereich	Vollknoten	Fliessband	Knoten aufgelöst
Taktdichte FV	$\geq 15'$ unterschiedliche Taktdichten	15'-Takt Fliessband-Linie 15'-, 30'-, 60'-Takt übrige	$\leq 15'$
Anzahl Linien FV	Kleine Anzahl, so dass keine Überlappung Ein-/Ausfahrten	Eine Fliessband-Linie, übrige variabel	Grosse Anzahl
Angebotsdichte in Randstunden	Variable Taktdichte im Tagesgang leicht möglich	Fliessband-Linie unverändert über ganze Betriebszeit, übrige variabel	Keine oder geringe Ausdünnung in Randzeiten
Knotengrösse	v.a. kleine und mittlere Knoten	Alle Grössen, sofern Fliessband- Linie im 15'-Takt	Grossknoten, RV hier oft bereits aufgelöst
Infrastruktur	Bei bereits für Knoten ausgebauter Infrastruktur	zur Vermeidung Erweiterung Knoteninfrastruktur	Zur Vermeidung grösserer Erweiterungen der Knoteninfrastruktur / Zufahrten
Güterverkehr	Tendenziell günstig für Trassierung GV	Potenzielle Beeinträchtigung der Trassierbarkeit GV	Potenziell Beeinträchtigung der Trassierbarkeit GV

Handlungsstrategien Bahnsystem Schweiz

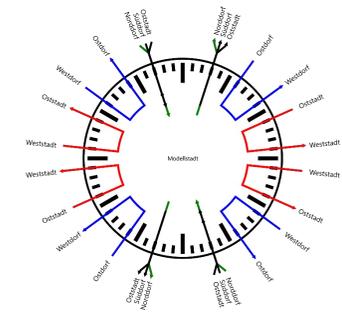
Die **Auflösung von Anschlussknoten des Fernverkehrs** bei 15-Minuten-Takten ist unter folgenden Bedingungen prüfenswert:

- Es stehen hohe **Investitionen in die Knoteninfrastruktur** an, insbesondere zusätzliche Perrongleise oder ein Ausbau der Zufahrtsstrecken.
- Die **15-Minuten-Takte** des Fernverkehrs sind für die Mehrheit der Linien vorgesehen (Einzelausnahmen mit 30-Minuten-Takt möglich)
→ d.h. die Auflösung dürfte langfristig nur für **Grossknoten** in Frage kommen
- Die 15-Minuten-Takte des Fernverkehrs werden über den grössten Teil der Betriebszeit aufrechterhalten oder es bestehen **attraktive Konzepte für die Randstunden**
- Das **Angebot des Regionalverkehrs** mit Bezug zum entsprechenden Knoten ist mindestens ebenso dicht getaktet.

Vollknoten



Aufgelöster Knoten



Grundsätze bei der Anwendung (teil-)aufgelöster Knoten

Falls eine **Knotenauflösung** in Betracht gezogen wird, tragen folgende Punkte zu einem hohen Nutzen im Gesamtsystem Bahn bei:

- Die höhere Flexibilität bei der Angebotsgestaltung wird für die **Optimierung des Infrastrukturbedarfs** und der Spitzenbelastungen in Knoten genutzt.
- Es werden die **nachfragestärksten Relationen durchgebunden**.
- Es werden (weiterhin) die **nachfragestärksten Anschlüsse** (Prioritär nach den Durchbindungen) möglichst schlank geplant.
- Es wird konsequent mit möglichst **kurzen Haltezeiten** geplant.
- Bei einer Knotenauflösung in einem Grossknoten sind im Gegenzug die **Anschlüsse in peripheren resp. kleineren Knoten zu optimieren** und bereits in einem frühen Zeitpunkt des Planungsprozesses zu beachten.
- Die Konzeption von **Randstunden** erfolgt gleichzeitig zum Systemangebot.

Kontakt

SMA und Partner AG

Gubelstrasse 28

8050 Zürich

Schweiz

Raphael Karrer

Telefon +41 44 317 55 17

r.karrer@sma-partner.com

www.sma-partner.com

Backup

Fallbeispiele Knoten und dichte Takte international

Beispiel	Knotentypen
FV Schweiz AS 2035	Vollknoten bei 30'-Takten, auch bei teilweisen 15'-Takten Ausserdem Richtungsknoten und Korrespondenzen
FV Niederlande	Richtungsknoten bei 30'- und 15'-Takten, Knotenauflösung bei 15'- und 10'-Takten
ITF NRW RRX-Konzept	Aufgelöste Knoten im Kernnetz mit überlagerten 15'-Takten, Vollknoten an Aussenknoten mit 30'-Takten
Japan, JR East	Aufgelöste Knoten, nur punktuell Richtungsknoten bei überlagerten 20'- bis 60'-Takten; Fokus effizienter Linienbetrieb
RegioTram Kassel	Richtungsknoten bei 30'-Takten, Auflösung dieser Knoten bei 15'-Takten (Wechsel im Tagesverlauf)
Mannheim, Arth-Goldau	Korrespondenz bei 60'-Takten

Grundsätze bei der Anwendung (teil-)aufgelöster Knoten

- Bei einer Umsetzung einer **Fliessband-Linie** sind folgende Grundsätze zu berücksichtigen:
 - Die auszuwählende Fliessband-Linie weist einen **hohen Anteil an Durchfahrern** auf und verkehrt über gesamte Betriebszeit und auf beiden Linienästen im 15'-Takt
 - Die übrigen Linien verkehren in einem verschlankten Knoten (kürzere Standzeiten)
- Zu beachten sind immer die Angebotsqualität resp. die Gesamtwirkung (inkl. Infrastruktur, Betrieb) im ganzen Netz, da sich positive Effekte im betrachteten Knoten im Nachbarknoten / Netz negativ auswirken können.

Vertiefungen basierend auf den Erkenntnissen

- **Netzweite Ausplanung** von Ansätzen mit punktueller Knotenauflösung im nationalen Netz sowie Vergleich der Wirkungen im gesamten öV-System
- Vertiefung möglicher **Angebotsstrategien beim Ausdünnen von Angeboten** bei Fließband und aufgelöstem Knoten zur Minimierung negativer Effekte, Taktbrüche etc.
- Vertiefung der **Wirkung auf die Betriebsstabilität**
- Sensitivitätsbetrachtungen z.B. mit **Priorisierung des Güterverkehrs**, mit weitgehender **Angebotssystematisierung**, mit Reduktion der Anzahl **Produktekategorien** des Personenverkehrs