Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Verkehr BAV
Office fédéral des transports OFT
Ufficio federale dei trasporti UFT

Taktverdichtung im Bahnverkehr der Schweiz unter Berücksichtigung des Knotenprinzips

Augmentation de la cadence des transports ferroviaires en Suisse en tenant compte du système des nœuds

Increased frequencies of rail services in Switzerland taking into account the node principle

SMA und Partner AG, Zürich
Michael Frei
Raphael Karrer
Christian Omlin
Rafael Haas
Luigi Stähli

Experten
Prof. Vincent Kaufmann, EPFL
Hubert Riedle, BLS
Roel Zijdemans, NS

Forschungsprojekt SVI 2018/005 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI

Dezember 2021

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung
Michael Frei, SMA und Partner AG

Mitglieder
Raphael Karrer, SMA und Partner AG
Christian Omlin, SMA und Partner AG
Rafael Haas, SMA und Partner AG
Luigi Stähli, SMA und Partner AG
Prof. Vincent Kaufmann, EPFL
Hubert Riedle, BLS
Roel Zijdemans, NS

Begleitkommission

Präsident
Jörg Jermann

Mitglieder
Oliver Biedert
Benno Erismann
Christoph Kölble
Christophe Mayor
Anne Olesen
Roland Ribi
Daniel Scherrer
Dominic Stucki

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.svi.ch heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum **2**
Zusammenfassung **5**
Résumé **7**
Summary **9**

1 Einleitung **11**
1.1 Ausgangslage 11
1.2 Ziel der Forschungsarbeit 11
1.3 Gegenstand 12
1.4 Vorgehen und Methoden 12
1.4.1 Vorgehensübersicht 12
1.4.2 Methoden und Tools 13
1.5 Berichtstruktur 13

2 Grundlagen **14**
2.1 Literaturrecherche und -auswertung 14
2.2 Begriffe 20
2.2.1 Anschlussspinne (Anschlussuhr) 20
2.2.2 Vollknoten 20
2.2.3 Aufgelöster Knoten 21
2.2.4 Richtungsknoten 22
2.2.5 Fliessbandprinzip 22
2.2.6 Symmetrie, Nullsymmetrie 22
2.2.7 Taktfahrplan 23
2.2.8 Weitere Begriffserklärungen / Darstellungen 24
2.3 Relevante Parameter 26
2.3.1 Übergeordnete Ziele 27
2.3.2 Indikatoren 27
2.3.3 Einflussparameter 28
2.4 Schärfung Forschungshypothesen 29

3 Fallbeispiele **30**
3.1 Übersicht Vorgehen 30
3.2 Betrachtete Fallbeispiele 30
3.3 Gegenüberstellung und Schlussfolgerungen 31

4 Theoretische Modellknoten **33**
4.1 Übersicht Vorgehen 33
4.2 Szenarien für die theoretische Analyse Wirkungszusammenhänge 34
4.2.1 Untersuchte Modellknoten 34
4.2.2 Untersuchte Knotentypen 36
4.2.3 Ansätze Knotenstrukturen 38
4.2.4 Ausgewertete Indikatoren 39
4.3 Auswertungen 40
4.3.1 Berechnungsfälle / Variantenfächer 40
4.3.2 Allgemeine Erkenntnisse 42
4.3.3 Erkenntnisse bei «streckenfixierter» Knotenstruktur 44
4.3.4 Erkenntnisse bei «knotenoptimierter» Knotenstruktur 46
4.3.5 Erkenntnisse bezüglich Anzahl Gleise, Standzeiten und GV-Trassen 48
4.3.6 Vergleich Modellknoten I mit Modellknoten II 49
4.3.7 Vergleich Modellknoten I mit Modellknoten III 52
4.4 Schlussfolgerungen 53
4.4.1 Grenzen des theoretischen Modells 53
4.4.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 54

5 Szenarien 55
5.1 Übersicht Vorgehen 55
5.2 Musternetz 55
5.3 Szenariendefinition 55
5.3.1 Verkehrsarten 55
5.3.2 Szenarienbildung 56
5.4 Konzepte Expressverkehr 56
5.4.1 Konzeption 56
5.4.2 Beurteilung 60
5.4.3 Auswahl für Vertiefung 62
5.5 Konzeptvertiefung 62
5.5.1 Konzeption 62
5.5.2 Erkenntnisse 65

6 Wirkungsanalyse Szenarien 67
6.1 Übersicht Vorgehen 67
6.2 Auswertung Indikatoren 67
6.2.1 Angebotsanalyse 67
6.2.2 Ausdünnen des Angebots in Randstunden 69
6.2.3 Infrastrukturbedarf 71
6.2.4 Belastung Publikumsanlagen 71
6.2.5 Qualität Güterverkehr 71
6.2.6 Nutzbare Reisezeit 72
6.2.7 Analyse Sekundärknoten 73
6.2.8 Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote 74
6.2.9 Heutige ÖV-Systeme (Knoten, Takte), Anzahl Sekundärknoten 75
6.2.10 Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen 75
6.2.11 Ressourceneinsatz EVU (Rollmaterial) 77
6.2.12 Wirkung nach Gemeindetypen 78
6.2.13 Stabilität der Transportkette (Umsteige-, Haltezeiten Knoten Bern) 78
6.2.14 Nutzbarkeit ÖV durch Personen mit eingeschränkter Mobilität 80

7 Evaluation Szenarien 81
7.1 Übersicht Vorgehen 81
7.2 Vergleich Szenarien 81
7.3 Schlussfolgerungen Wirkungsanalyse 83
7.3.1 Wesentliche Erkenntnisse 83
7.3.2 Einschätzung der Ergebnisse 83
7.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse 84
7.3.4 Vertiefungsbedarf 84

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 86
8.1 Synthese aus den Ergebnissen der Forschungsarbeit 86
8.1.1 Übersicht Vorgehen 86
8.1.2 Gegenüberstellung Fallbeispiele, Modellknoten und Szenarien 86
8.1.3 Schlussfolgerungen 87
8.1.4 Anwendungsbereiche Knotentypen 88
8.1.5 Abgleich Forschungsthesen 89
8.1.6 Beiträge zu übergeordneten Zielen 90
8.2 Empfehlungen 91
8.2.1 Mögliche Handlungsstrategien Bahnsystem 91
8.2.2 Methodik der Planung 91
8.2.3 Weiterer Forschungsbedarf 92

Anhänge 93
Glossar 128
Abkürzungsverzeichnis 131
Literaturverzeichnis 132
Projektabschluss 134
SVI Publikationsverzeichnis 137

Zusammenfassung

Das Angebot des Eisenbahn-Fernverkehrs in der Schweiz ist vom Knotensystem geprägt, welches durch abgestimmte Fahrplanzeiten in den Knotenbahnhöfen kurze Anschlüsse und damit netzweite stündliche resp. halbstündliche Reiseketten mit optimalen Reisezeiten ermöglicht. Im Zusammenhang mit einer künftigen weiteren Verdichtung des Fernverkehrs-Angebots auf 15-Minuten-Takte und dichter, wird in der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht, welches die Auswirkungen einer teilweisen oder vollständigen Auflösung von sog. Anschlussspinnen u.a. auf die netzweiten Reisezeiten und die Kapazitätsnutzung der Infrastruktur sind.

Die angewendeten Methoden umfassen eine Auslegeordnung der Grundlagen, die Analyse von Fallbeispielen, eine theoretische Modellauswertung, die Ausplanung und Wirkungsbeurteilung von Anwendungsfällen sowie die anschliessende Synthese. Die bezüglich der Forschungsfrage relevanten Einflussgrössen umfassen die angebotsseitige Knotenausgestaltung (Vollknoten, Richtungsknoten, Korrespondenz, Fliessband oder aufgelöster Knoten) und den Knotentakt (sofern der Knoten nicht aufgelöst ist) sowie, bezüglich der im Knoten verkehrenden Linien, die Takte, die Anzahl unterschiedlicher Produktetypen und der Anteil der durchgebundenen Linien. Die Wirkung auf das Gesamtsystem Bahn lässt sich anhand von 14 Indikatoren messen, welche sich aus den übergeordneten Zielen – in Form der strategischen Leitsätze aus der Strategie 2019 des Bundesamtes für Verkehr– ableiten.

Es bestehen international zahlreiche Beispiele von Knotensystemen mit 30- und 60-Minuten-Takten, jedoch keines bei welchem der Expressverkehr überwiegend in 15-Minuten-Takten verkehrt und gleichzeitig ausgeprägte Taktknoten bestehen. Aus den Niederlanden liegt ein Beispiel vor, bei welchem mit der Verdichtung von Expresslinien auf bis zu 10-Minuten-Takte (im Wesentlichen durch Überlagerung von Linien im Kernnetz) vorher bestandene Taktknoten teilweise oder ganz aufgelöst wurden und so die Verbindungsdichte und die Anzahl direkter Verbindungen maximiert werden konnte.

Aus der Analyse von drei theoretischen Modellknoten, welche sich bezüglich der Anzahl Linien und dem Anteil durchgebundener Linien unterscheiden, lassen sich die Auswirkungen von unterschiedlichen Takten von 60 bis 7.5 Minuten und von variablen Anteilen der Umsteiger u.a. auf die Verlustzeiten der Reisenden im Knoten wie folgt ermitteln: **Für Knoten mit einem üblichen Umsteigeranteil zeigt sich ein Übergang der idealen Anwendungsbereiche von Vollknoten zu aufgelöstem Knoten resp. Fliessband bei 15-Minuten-Takten.**

Die ausgeplanten und evaluierten Anwendungsfälle für ein Musternetz in der Grossregion Bern in sechs Szenarien für den Expressverkehr mit 30- sowie 15-Minuten-Takten und jeweils mit einem Knotenbahnhof Bern als Vollknoten, als Knoten mit Fliessband-Linien und als aufgelösten Knoten zeigen ebenfalls – übereinstimmend mit der Analyse der theoretischen Modellknoten – **einen Übergangsbereich des Anwendungsfeldes von Vollknoten zu weiteren Knotentypen bei 15-Minuten-Takten. Die Angebotsqualität ist bei dieser Taktdichte mit einer Knotenauflösung etwa gleichwertig bis geringfügig besser als bei einem Vollknoten.** Die vertiefte Angebots- und Kapazitätsplanung der Szenarien mit 15-Minuten-Takten – mit ergänzender Berücksichtigung von Regional- und Güterverkehr – zeigen **potenzielle Vorteile eines aufgelösten Knotens bezüglich effizienterer Kapazitätsnutzung der Infrastruktur resp. geringerem Infrastruktur-Ausbaubedarf, sowie geringfügig bezüglich des Ressourcenbedarfs für die Produktion. Nachteilig könnte sich ein Fliessband-System oder eine Knotenauflösung auf Grund der Verteilung der Trassen des Personenverkehrs hingegen auf die Trassierbarkeit des Güterverkehrs auswirken.**

Das Auflösen von Vollknoten des Expressverkehrs oder das Einführen von Fliessband-Linien in grösseren Knoten bei einer künftigen Verdichtung auf 15-Minuten-Takte ist, basierend auf den Ergebnissen der theoretischen Betrachtung sowie Anwendungsbeispielen,

somit grundsätzlich prüfenswert. Die Angebotsqualität über alle Verbindungen ist mit Knotenauflösung gegenüber einem Vollknoten zumindest gleichwertig, wobei im Knoten durchgebundene Verbindungen von kürzeren Aufenthaltszeiten profitieren, einzelne Umsteigeverbindungen umgekehrt jedoch verlangsamt werden. Entsprechend sind die nachfragestärksten Verbindungen mit möglichst kurzen Standzeiten durchzubinden und weitere nachfragestarke Relationen dennoch weiterhin mit einem kurzen Anschluss zu planen. Weiter ist bei einer Knotenauflösung und bei Fliessband-Konzepten darauf zu achten, dass eine allfällige Ausdünnung des Angebots in Randstunden nicht zu einer Verschlechterung der Transportketten führt. Ein potenziell reduzierter Infrastrukturbedarf entsteht sowohl im Knoten, im Wesentlichen durch die kürzeren Standzeiten, als auch auf den Strecken durch die grösseren Freiheitsgrade bei der Trassenplanung. Bei letzterem ist jedoch zu beachten, dass die Qualität der Güterverkehrstrassen insbesondere auf Mischverkehrsstrecken reduziert werden könnte, resp. umgekehrt der Vorteil einer effizienteren Kapazitätsnutzung bei angemessener Priorisierung von Güterverkehrstrassen verkleinert würde. Der höhere Freiheitsgrad bei der Trassenplanung ergibt jedoch auch das Potenzial – durch «Entbündelung» der Trassen – eine erhöhte Priorität auf die Betriebsstabilität und -qualität zu legen.

Die im Rahmen der Forschungsarbeit gewonnen Erkenntnisse basieren ressourcenbedingt auf einer Betrachtung eines singulären Knotens resp. auf einem Musternetz mit einem zentralen grösseren Knoten. Eine Übertragbarkeit auf das nationale Netz müsste mit einer entsprechenden Erweiterung des Betrachtungsperimeters überprüft werden. Es empfiehlt sich zudem eine Prüfung alternativer konzeptioneller Ansätze, wie z.B. eine Priorisierung des Güterverkehrs, eine weitergehende Angebotssystematisierung oder eine Reduktion der Anzahl Produktekategorien im Personenverkehr. Weiterer Forschungsbedarf wurde ausserdem bezüglich der Wirkungsbeurteilung der Knotentypen auf die Betriebsstabilität sowie bezüglich zweckmässiger Ansätze für Randstundenagebote identifiziert.

Résumé

L'offre ferroviaire à longue distance en Suisse est basée sur le système des nœuds de correspondances qui permet, grâce à l'horaire cadencé coordonné, des correspondances courtes et donc une chaîne de transport avec une cadence à l'heure ou à la demi-heure sur l'ensemble du réseau avec des temps de parcours optimaux. Dans le cadre d'un futur développement de l'offre longue distance à des cadences de 15 minutes et plus fréquent, le présent projet de recherche étudie les effets d'une dissolution partielle ou complète des nœuds de correspondances, notamment sur les temps de parcours à l'échelle du réseau et sur l'utilisation de la capacité de l'infrastructure.

La démarche suivie comprend une présentation des principes fondamentaux, une étude de cas, l'évaluation d'un modèle théorique, le développement et l'évaluation des impacts des cas étudiés et finalement une synthèse. Les variables d'influence pertinentes pour la question de recherche comprennent la conception du nœud de correspondances (nœud complet, nœud directionnel, trains IC/IR en correspondance, « tapis roulant » dans lequel les trains IC sont hors du nœud ou nœud dissous) et la cadence de base du nœud (si le nœud n'est pas dissous) ainsi que, pour les lignes concernées, les cadences, le nombre de types de produits différents et la proportion de lignes diamétralisées. L'effet sur l'ensemble du système ferroviaire peut être mesuré au moyen de 14 indicateurs, qui sont déduits des objectifs fondamentaux – sur la base des orientations stratégiques de la Stratégie 2019 de l'Office fédéral des transports.

Il existe de nombreux exemples internationaux de systèmes de nœuds de correspondances avec des cadences de 30 et 60 minutes, mais aucun où le trafic express circule majoritairement à des cadences de 15 minutes et où il existe simultanément des nœuds de correspondance caractéristiques. Aux Pays-Bas, il existe un exemple où la densification des lignes express à des cadences allant jusqu'à 10 minutes (essentiellement par superposition de lignes dans le cœur du réseau) a partiellement ou totalement dissous les nœuds de correspondances existants auparavant, ce qui a permis de maximiser la densité d'offre et le nombre de relations directes.

L'analyse de trois modèles théoriques de nœuds, qui se distinguent par le nombre de lignes et la proportion de lignes diamétralisées, permet de déterminer les effets de différentes cadences de nœud de 60 à 7,5 minutes et de proportions variables de voyageurs en correspondance, entre autres sur l'attente des voyageurs dans le nœud provoquant un allongement du temps de parcours global. **Pour les nœuds ayant une proportion usuelle de voyageurs en correspondance, il apparaît une transition du domaine de pertinence des nœuds complets vers les nœuds dissous ou « tapis roulant » apparaît avec la cadence 15 minutes.**

Les cas d'application étudiés et évalués pour le sous-réseau de la région du Grand Berne dans six scénarios pour le trafic express avec des cadences de 30 et 15 minutes et avec un nœud de Berne complet, « tapis roulant » et dissous montrent également – en cohérence avec l'analyse des modèles théoriques de nœuds – **une transition du domaine de pertinence des nœuds complets vers les autres types de nœuds avec la cadence 15 minutes. La qualité de l'offre est à ce niveau de cadence à peu près équivalente ou légèrement meilleure avec un nœud dissous qu'avec un nœud complet.** La planification approfondie de l'offre et de la capacité des scénarios avec cadence 15 minutes - et prise en compte du trafic régional et trafic marchandises - montre **les avantages potentiels d'un nœud dissous en termes d'utilisation plus efficace de la capacité et donc de réduction des besoins d'extension de l'infrastructure, ainsi que de légers avantages en termes de besoins en ressources de production. De plus, un système de « tapis roulant » ou de nœuds dissous pourrait avoir un effet négatif sur la faisabilité des sillons du trafic marchandises en raison de la répartition continue des sillons de voyageurs.**

Sur la base des résultats de l'analyse théorique et des exemples d'application, la dissolution des nœuds de correspondance ou l'introduction de nœuds de type « tapis roulant »

méritent donc d'être envisagés pour les grands nœuds lors de la densification de l'offre à la cadence 15 minutes. La qualité de service sur toutes les relations est au moins équivalente à un nœud complet avec la dissolution du nœud, les relations diamétrales bénéficient de temps de stationnement plus courts, mais certaines relations en correspondance peuvent au contraire être allongées. En conséquence, les relations avec la plus forte demande doivent être diamétralisées avec des temps d'arrêt les plus courts possibles et les autres relations à forte demande doivent toujours être planifiées avec une correspondance courte. En outre, dans le cas des nœuds dissous et de nœuds « tapis roulants », il faut veiller à ce qu'un éventuel allègement de l'offre en heures creuses n'entraîne pas une détérioration de la chaîne de transport. Les besoins en infrastructures sont potentiellement réduits tant au niveau du nœud, essentiellement grâce à la réduction des stationnements, qu'en ligne en raison des degrés de liberté plus importants dans la planification des sillons. Dans ce dernier cas, il convient toutefois de noter que la qualité des sillons de marchandises pourrait être réduite, notamment sur les tronçons en trafic mixte, ou qu'inversement, l'avantage d'une utilisation plus efficace des capacités serait réduit si les sillons marchandises bénéficiaient d'une priorité appropriée. Toutefois, le degré de liberté plus élevé dans la planification des sillons permet également - par le "dégroupage" des sillons - d'accorder une plus grande priorité à la stabilité et à la qualité de l'exploitation.

Les connaissances acquises dans le cadre des travaux de recherche sont basées, en raison du volume de travail, sur la considération d'un seul nœud ou d'un seul sous-réseau avec un nœud central important. La transférabilité au réseau national devrait être vérifiée en étendant le périmètre considéré en conséquence. Il est également recommandé d'examiner d'autres approches conceptuelles, telles que la priorisation du trafic marchandises, une systématisation plus poussée de l'offre ou une réduction du nombre de types de produits dans le transport de voyageurs. D'autres besoins de recherche ont également été identifiés en ce qui concerne l'évaluation de l'impact des types de nœuds sur la stabilité d'exploitation et en ce qui concerne les approches appropriées pour les heures creuses.

Summary

Long-distance rail transport in Switzerland is characterised by the hub system, which permits short connections through coordinated timetables at the hub stations. As a result, network-wide hourly or half-hourly journey possibilities offer ideal travel times. In the context of potential future further increases in the frequency of long-distance traffic to 15-minute intervals or less, the present research project investigates the effects of a partial or complete elimination of the integrated hubs on network-wide travel times and the capacity utilisation of the infrastructure.

The methods applied include an overview of the fundamental principles, analysis of case studies, a theoretical model evaluation, the planning and impact assessment of use cases and a concluding synthesis. The research project identified factors affecting the subject of the study including the service concept types in rail hubs, the “node frequency” (in case of a node with connections) and the characteristics of the train lines using the node. The base design of the interchange hubs can be one of several different possible connection strategies. Those studied are: Fully integrated (i.e. all potential connections are reachable), directional (connections in the same direction of travel are integrated, but passengers may have longer waits for the opposite direction), inter-train transfers (direct connections between two services) and “conveyor-belt” (where most connections are integrated, but for some cases there is an asymmetry as trains feed passengers into the hub but do not wait for other incoming connections. Finally, there are nodes where the previously integrated connections are removed in favour of shorter dwell times because the service frequencies have increased. Lines are characterised by their interval, the number of different product types and the proportion of through and terminating services in the node. The effects on the overall railway system were measured using the 14 indicators that are derived from the higher-level objectives of the Federal Office of Transport's 2019 strategy.

There are numerous international examples of systems with 30 and 60-minute intervals at the hubs, but none in which express traffic predominantly operates at 15-minute intervals and where the lines integrate strongly in key connection hubs. In the Netherlands, there is an example where the increase in the frequency of express lines of up to 10-minute intervals (mainly through overlapping the lines in the core network) has essentially eliminated the previous integrated nodes, while maximising the density of connections and the number of direct journeys possible.

By analysing three theoretical model nodes, which vary in terms of the number of lines and proportion of through and terminating services, the effects on the loss of travel time of passengers are determined. The analysis includes service frequencies ranging from 60 to 7.5 minutes and a variable proportion of transferring passengers. **For nodes with typical fractions of interchanging passengers, it appears that 15-minutes intervals are suitable application domains for full interchange nodes as well as any of the studied connection models.**

In the study, six scenarios of a model network of express train services in the Greater Berne region were evaluated. The scenarios include 30- or 15-minute intervals and three concepts for the Berne node itself including a fully integrated connection node, a conveyor-belt connection model and a node without a systematic connection concept. The evaluation shows, in agreement with the analysis of the theoretical model nodes, that **at 15-minutes frequencies there is a transition from fully integrated nodes to the other types for the best overall journey time across the whole network. The quality of service at this interval for a node without a connection concept is approximately equivalent to, or better, than with a fully integrated node.** Detailed service and capacity planning of the three scenarios with 15-minute intervals - with additional consideration of regional and freight trains - show a **potential advantage for nodes without a planned connection concept in terms of more efficient capacity utilisation of the infrastructure, or lower infrastructure enhancement requirements, as well as small advantages in terms of resource requirements for production. However, a conveyor-belt or node without a**

connection concept could have a negative effect on the quality of train paths for freight traffic due to the distribution of passenger traffic train paths.

Based on the results of the theoretical analysis and case studies, with future increases to 15-minute frequencies the removal of fully integrated hubs for express traffic or the introduction of conveyor-belt connections intervals in larger hubs is worth considering. In this case, the quality of service across all connections in the network is at least equivalent to a fully integrated node. Although through connections in the node benefit from shorter dwell times, some individual journeys with a transfer will suffer from increased waiting times. Consequently, trough trains with the highest demand should have the shortest possible dwell times, and connections with high demand should be planned with a minimal connectional duration. In the case of replacement of the integrated hub with a node without a connection concept, or with a conveyor-belt connection model, care should be taken to ensure that lower intervals in off-peak hours do not lead to poorer journey possibilities. Potentially reduced infrastructure requirements arise in the node, primarily due to the shorter dwell times, and on the wider network due to the greater degree of freedom in the planning of train paths. However, it should be noted that the quality of freight train paths may be reduced, especially on mixed traffic lines. Conversely, the prioritisation of freight train paths may reduce the potential capacity utilisation efficiency. However, the greater degree of freedom in train path planning through the "unbundling" of the train paths creates the potential to give higher priority to operational stability and quality.

The knowledge gained in the course of this research work is based on the observation of a single node and a sample network with a larger central node. Whether these results can be extended to the national network would have to be verified by increasing the study perimeter. It is recommended that alternative conceptual approaches, such as prioritising freight train paths, further systematisation of services or a reduction in the number of product categories in passenger transport be investigated. Further research is needed to assess the impact of interchange node types on operational stability and to identify appropriate approaches for off-peak hours.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Angebot des Eisenbahn-Fernverkehrs in der Schweiz ist heute und in den zukünftig vorgesehenen Angebotskonzepten der Ausbauschritte des Strategischen Entwicklungsprogramms Bahninfrastruktur des Bundes (STEP) vom Knotensystem geprägt. Dieses ermöglicht in mittleren und grösseren Knotenbahnhöfen kurze Anschlusszeiten zwischen den untereinander abgestimmten Stunden- und Halbstunden-Takten, so dass netzweite stündliche resp. halbstündliche Reiseketten mit optimalen Reisezeiten entstehen.

Dieser Forschungsarbeit zu Grunde liegt die Hypothese, dass bei einer weiteren Verdichtung des Angebots auf 15-Minuten-Takte oder dichter diese sogenannten Anschlussspinnen an Bedeutung verlieren und aufgelöst werden können, ohne dass sich die netzweiten Reisezeiten verlängern. Es könnten sich ausserdem Vorteile z.B. bezüglich Kapazitätsnutzung und Ausbaubedarf der Infrastruktur oder durch kürzere Standzeiten der Züge ergeben.

1.2 Ziel der Forschungsarbeit

Ziel der Forschungsarbeit sind Erkenntnisgewinne bezüglich der Wirkung einer teilweisen oder weitgehenden Auflösung der Anschlussspinnen des Fernverkehrs bei zunehmender Taktdichte auf das Gesamtsystem Eisenbahn. Neue Kenntnisse werden insbesondere zu folgenden Punkten ermittelt:

- Identifikation relevanter Einflussgrössen und Wirkungen bezüglich Taktdichte und Knotenausgestaltung resp. -auflösung,
- Übersicht der in der Schweiz und in Europa / in Japan vorhanden und geplanten Konzepte bzw. deren Charakteristika und Wirkung der Variierungen von Taktdichte und Knotenausgestaltung,
- Theoretische Zusammenhänge von Einflussgrössen und deren Wirkungen (insbesondere Reisezeit, Verlustzeiten in Knoten) in Abhängigkeit von Takt und Knotenausgestaltung,
- Repräsentative Szenarien für Taktdichte und Knotenausgestaltung der Schweiz und deren Auswirkungen u.a. auf netzweite Reisezeiten sowie Anzahl Umstiege (gewichtet mit Nachfrage),
- Kenntnisse der Wirkungszusammenhänge der Auflösung von Knoten im übergeordneten Kontext der Schweizerischen Verkehrspolitik (Ziele Effizienz Bahnsystem, Langfristperspektive Bahn, neue Mobilitätsformen) sowie Abschätzung von Vor- / Nachteilen,
- Wirkung repräsentativer Szenarien auf die Auslastungsverteilung resp. das Brechen von Spitzenbelastungen von Publikums- und Gleisanlagen von Knotenbahnhöfen.

Mit den Ergebnissen liegen konkrete Grundlagen für die Diskussion zur Stossrichtung der langfristigen Entwicklung des Schweizer Bahnsystems vor. Ausserdem entsteht eine fundierte Basis für die Erstellung resp. Überarbeitung von Entscheidungsgrundlagen. Die Ergebnisse tragen so zu einem optimalen Mitteleinsatz in einem zukunftsfähigen Bahnsystem bei.

1.3 Gegenstand

Der Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit wird wie folgt abgegrenzt:

- Fokus auf die Gegebenheiten und Entwicklungen des Schweizer Normalspurnetzes,
- Fokus auf unterschiedliche Ausgestaltungsformen von Knoten des Expressverkehrs,
- Berücksichtigung von Regional- und Güterverkehr in theoretischer Analyse Modellknoten und bezüglich Wirkungsbeurteilung des Gesamtangebots Schiene und im Rahmen der detaillierten Kapazitätsanalyse von Szenarien,
- Keine Betrachtung von städtischem Verkehr bzw. Ortsverkehr,
- Angebotskonzept zum STEP Ausbauschritt 2035 als Ausgangslage.

1.4 Vorgehen und Methoden

1.4.1 Vorgehensübersicht

Das Vorgehen gliedert sich in 7 Arbeitsschritte (siehe Abb.1):

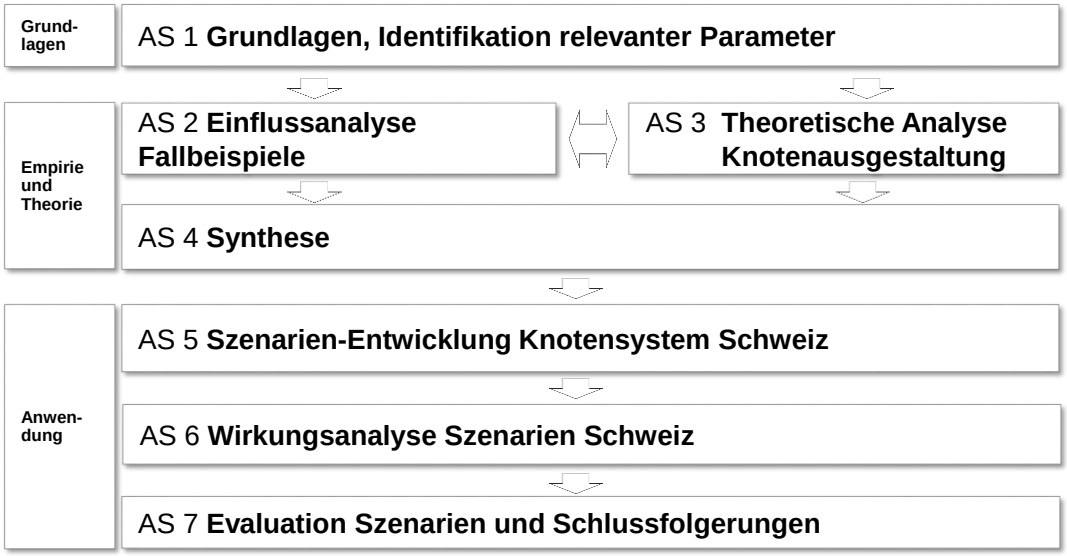


Abb.1 *Übersicht Vorgehen Forschungsarbeit*

Auf Basis der beschafften Grundlagen (AS 1) werden in einem empirischen resp. theoretischen Teil Fallbeispiele (AS 2) resp. ein theoretisches Modell (AS 3) bezüglich der Einflussgrössen und Wirkungszusammenhänge untersucht und daraus Schlussfolgerungen abgeleitet (AS 4). Die Anwendung auf das Bahnnetz der Schweiz erfolgt in Szenarien (AS 5), auf Basis derer die Wirkungen analysiert werden (AS 6). Schliesslich sind die Szenarien und deren Wirkungen zu evaluieren und die Schlussfolgerungen abzuleiten (AS 7).

1.4.2 Methoden und Tools

Eine möglichst optimal abgestützte Beantwortung der Forschungsfrage erfordert eine Herangehensweise mit unterschiedlichen Methoden aus Fallbeispielen, Theorie und Anwendungsfällen. Durch die verschiedenen Blickwinkel kann der Komplexität der Wirkungszusammenhänge Rechnung getragen werden, indem die jeweiligen Teilerkenntnisse einander gegenübergestellt und allfällige widersprechenden Ergebnisse diskutiert, sowie belastbare Erkenntnisse abgeleitet werden. Die eingesetzten Methoden werden mit passenden Tools unterstützt und umfassen nach Arbeitsschritten:

***Tab. 1** Übersicht Methoden und Tools*

Arbeitsschritt	Eingesetzte Methoden und Tools
AS 1	Literaturrecherche und -auswertung, Expertenworkshop
AS 2	Recherchen, Anfragen Experten/Kontaktpersonen, Interviews
AS 3	Viriato-Tool Netzgrafik und Anschlussspinne, Excel-Modell
AS 4	Synthese
AS 5	Szenarienbildung, Expertenworkshop, Angebotskonzeption mit Viriato Fahrplantool
AS 6	Viriato-Reisezeitanalyse / -Umlegung, Excel-Auswertungen, Experteneinschätzung
AS 7	Vergleichswertanalyse

1.5 Berichtstruktur

Die Struktur des vorliegenden Berichts orientiert sich am Vorgehen. Auf die Einleitung folgen im Kap. 0 die im AS 1 ermittelten Grundlagen und relevanten Parameter. In den Kapiteln 3 und 0 schliessen die empirischen Betrachtungen mittels Fallbeispielen und der Analyse der theoretischen Knoten sowie die entsprechenden ersten Schlussfolgerungen an. In Kapitel 5 sind die entwickelten Szenarien des betrachteten Musternetzes dokumentiert und in den Kapiteln 6 resp. 7 die Analyse der Wirkungen resp. die Evaluation der Szenarien. Schliesslich folgt im Kapitel 8 die Synthese der Erkenntnisse.

2 Grundlagen

Zu Beginn des Forschungsprojekts hat die Forschungsstelle die aus der Literatur und aus Studien vorhandenen theoretischen Grundlagen aufbereitet und zusammengefasst.

Die für die Forschungsarbeit relevanten Begriffe sind definiert, so dass für die Bearbeitung ein klares Verständnis der Terminologie vorliegt.

Die Grundlagenbeschaffung und -aufbereitung umfasst auch eine Zusammenstellung relevanter vergangener, aktueller sowie künftiger Ansätze zur Knotengestaltung und Taktdichte in der Schweiz und im Ausland.

Aus den Grundlagen sind die relevanten Parameter der Einflüsse und Wirkungen im Zusammenhang mit Taktdichte und Knotenausgestaltung abgeleitet. Diese waren in einem Workshop mit der Begleitgruppe und den Experten zu diskutieren und zu verifizieren.

2.1 Literaturrecherche und -auswertung

Im Literaturverzeichnis am Ende dieses Forschungsberichts ist die gesichtete resp. ausgewertete nationale und internationale Literatur auf dem Gebiet aufgelistet.

Im Folgenden sind daraus die massgebenden Dokumente für das Forschungsprojekt analysiert und ausgewertet:

***Tab. 2** ARE, Bundesamt für Raumentwicklung: Verkehrsperspektiven 2040 – Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz [1]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Entwicklung der verschiedenen Verkehrsträger, Pkm und Tkm (ÖV, LV, MIV) • Verschiedene Entwicklungsszenarien
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Der Verkehr wächst in den nächsten Jahrzehnten weiter, wobei der ÖV im Personenverkehr (Pkm) die höchste Zunahme (51%) aufweist.
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• In einigen Korridoren wird während Spitzenzeiten das prognostizierte Wachstum kaum ohne weitere Massnahmen bewältigt werden können. • Es besteht Handlungsbedarf für weitere STEP-Angebotsschritte im Fern- und Regionalverkehr mit entsprechenden Ausbauten der Infrastruktur
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Personenverkehr • Güterverkehr • Zuwachs • Anteile der Verkehrsträger / Modal Split

***Tab. 3** ARE, Bundesamt für Raumentwicklung: Zukunft Mobilität Schweiz, UVEK-Orientierungsrahmen 2040 [2]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Zielsetzung und «künftige Stossrichtung des UVEK»
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Gibt Stossrichtungen und Ziele für Forschungsprojekt vor
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Mit weniger Mitteln eine möglichst hohe Effizienz (die verfügbare Technik optimal einsetzen, weniger finanzielle Mittel und natürliche Ressourcen verbrauchen und dadurch für die Gesellschaft einen maximalen Nutzen erzielen) erreichen • Weniger verfügbare öffentliche Mittel für Unterhalt und Ausbau der staatlichen Verkehrs- und Mobilitätsinfrastrukturen aus demographischen Gründen (Sozialtransfers)
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Leistungsfähigkeit ausschöpfen • Kosteneffizienz

	• flächen- und bodenschonend • Polyzentrische Siedlungsentwicklung • Mobility Pricing

***Tab. 4** BAV, Bundesamt für Verkehr: Langfristperspektive Bahn. Dokumentation zu den Grundlagen der Botschaft «FABI» [3]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Die Langfristperspektive soll längerfristig im Sinne eines „Leuchtturms“ der Entwicklung dienen, während das Strategische Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur (STEP) periodisch überprüft und bei Bedarf aktualisiert werden soll • Zielsetzung des Bundes • Handlungsräume der Schweiz
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Optimale Nutzung bestehender Infrastrukturen hat Vorrang vor Bau neuer Infrastrukturen • Ziel ist eine Etablierung und Vervollständigung des Knotensystems in einem ITF • Auf nachfragestarken Abschnitten ist der Viertelstundentakt im Fernverkehr die Regel
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Die Verkehrsnachfrage – vor allem innerhalb und zwischen den Agglomerationen – steigt
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Metropolitanregionen • Reisezeiten • Mobility Pricing

***Tab. 5** BAV, Bundesamt für Verkehr: Botschaft / Entwurf Angebotskonzept zum Ausbauschritt 2035 (AS 2035) des STEP [4]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Ausbauschritte der Schweiz (AS 2025 und AS 2035) • Massnahmen des AS 2035 • Begleitdokument mit Netzgrafiken
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Angebotskonzept, welches als Basis (Ausgangslage) für das SVI-Forschungsprojekt dient • Die Ausbauten des AS 2035 führen zu einer erhöhten Kapazität, was wesentlich attraktivere Angebote und neue Viertel- und Halbstundentakte möglich macht.
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Etliche Strecken sind bereits heute überlastet, viele weitere werden mit dem erwarteten Wachstum an ihre Kapazitätsgrenzen stossen. • Gleichzeitig weisen viele Bahnhöfe eine zu geringe Kapazität auf.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• AS 2035 • Netzgrafik

***Tab. 6** Breuer Steffen und Uekermann Ralf: ITF Deutschland 2020 – Ein Taktfahrplan für den deutschen Fernverkehr [5]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Entwurf eines ITF für den deutschen Fernverkehr
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Grundsätze der Fahrplankonstruktion • Unterscheidung Grund- und Ergänzungslinien • Einbezug internationaler Linien
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Zuggattungen sollen sich durch Reisegeschwindigkeit, Halteabstände und hauptsächliche Nutzung über Reiseentfernungen abgrenzen • Vorzüge des Fernverkehrsangebots rechtfertigen eine spezielle Tarifierung

Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Korrespondenz • Nullsymmetrie

Tab. 7 *Engel Rainer: Der integrale Taktfahrplan: Grenzen und Chancen [6]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Definition des Taktfahrplans • Vergleich von Taktfahrplan-Ansätzen in verschiedenen Ländern Europas
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Aufzeigen der Grenzen des ITF • Einschätzung des ITF aus Kundensicht
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Aufgrund Kapazitätsproblemen im zentralen Teil des Netzes und steigenden Anforderungen an die Infrastruktur könnte der ITF mit integriertem Tarif auf eine Krise zusteuern
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Taktzüge • Knoten • Tarife

Tab. 8 *Hürlimann Gisela: Die Eisenbahn der Zukunft; Modernisierung, Automatisierung und Schnellverkehr bei den SBB [7]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Entwicklung der Eisenbahn in der Schweiz aus der Krise zum Erfolgsprodukt • Genese des ITF Bahn 2000 von ersten Schnellbahnplänen über den Taktfahrplan
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Lernprozesse aus der Geschichte im Umgang mit HGV-Plänen versus Vernetzung • Lernprozesse aus der Geschichte im Umgang mit dem politischen, sozialen und finanzpolitischen Umfeld
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Notwendigkeit eines Paradigmas, als Perspektive zur Identifizierung relevanter Probleme, als ein spezifisches Set von Verfahren zu ihrer Lösung und als eine bestimmte Auffassung vom damit anzustrebenden Fortschritt.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Taktfahrplan • Bahn 2000

Tab. 9 *SMA und Partner AG, Rapp Trans AG: Umsteigezeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten – Auswirkungen und Massnahmen [9]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Die Schweizer Bevölkerung wird zunehmend älter. • Im ÖV ist mit einer ansteigenden Personendichte infolge des Nachfragewachstums zu rechnen.
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Minimale Umsteigezeiten müssten in den nächsten Jahren für die langsamsten Nutzer verlängert werden, was Auswirkungen auf die Knotengestaltung hat.
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Minimale Umsteigezeiten müssten in den nächsten Jahren für die langsamsten Nutzer verlängert werden, was Auswirkungen auf die Knotengestaltung hat.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Behindertengleichstellungsgesetz (BehiG) • Haltezeit • Umsteigezeit

Tab. 10 *Stähli Samuel: Zur Entwicklung des Taktfahrplans in der Schweiz [10]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Grundlagen des ITF

	• Idee und Umsetzung eines Taktfahrplans in der Schweiz
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Grundsatze resp. Anwendungsbereiche für die Entwicklung von Integralen Taktfahrplänen • Abgrenzung von anderen Ansätzen zur Fahrplangestaltung
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Notwendigkeit der Abstimmung von Takten und Gefässgrössen zur Erhöhung der Produktivität • Notwendigkeit Korridore mit niedriger Taktdichte prioritär zu planen
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Symmetrie • Taktfahrplan

Tab. 11 *Stohler Werner: Anschluss verpasst? Hat der Taktfahrplan eine Zukunft? [11]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Beschreibung des Taktfahrplans und der Motivation für seine Einführung • Darstellung des Auflösens von Taktknoten mit Viertelstundentakten
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Darstellung des Prinzips des Fliessbandsystems • Darstellung der Problematik des Ausdünnens in Schwachverkehrszeiten
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Sobald der Halbstundentakt zur Norm wird, existieren voll funktionierende Anschlüsse in Abständen, die einem Vielfachen von 15 Minuten entspricht. • Bei Auflösung von Taktknoten sind insbesondere in Schwachverkehrszeiten die Anschlüsse sicherzustellen.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Schwachverkehrszeit (entspricht Schwachlastzeit) • Symmetrie • Taktfahrplan

Tab. 12 *Stucki Dominic: Welches Verkehrssystem braucht die Schweiz? Eine Langfriststrategie für das Bahnsystem Schweiz. [12]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Entwicklung eines Konzepts für die Weiterentwicklung des Schweizer Verkehrssystems • Entwurf einer Langfriststrategie für das Verkehrssystem Schweiz mit Fokus ÖV, welche mit Raumplanungszielen und den absehbaren Entwicklungen bezüglich Bevölkerungs- und Arbeitswachstum sowie weiteren Trends abgestimmt ist
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Entwicklung und Bewertung von Angebotsvarianten mit sehr dichtem Angebot und Auflösung des ITF resp. Teilauflösung von ITF-Knoten
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Aus Erkenntnissen und Herausforderungen für ein künftiges Verkehrssystem erstellte Leitsätze bezüglich Angebot, Netzaufbau, Fahrplan, Strecken, Bahnhöfe, Güterverkehr, Abstimmung der Verkehrsträger, Trends und Planungsprozess
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Raumentwicklung

Tab. 13 *Weidmann Ulrich: System- und Netzplanung des Personenverkehrs. Skript zur Vorlesung [13]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Grundlagen der System- und Netzplanung • System- und Netzplanung des Personenverkehrs Entwicklung eines Konzepts für die Weiterentwicklung des Schweizer Verkehrssystems • Angebotskonzepte des Personenverkehrs
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Theoretische Grundlagen aus der Lehre

Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Unterscheidung zwischen Angeboten, bei welchen eine Konkurrenzfähigkeit mit dem MIV angestrebt wird (im Rahmen der Wirtschaftlichkeit eine möglichst dichte Kursfolge anstreben) und solchen, welche der Grundversorgung der Bevölkerung dienen (die wichtigsten Mobilitätsbedürfnisse befriedigen)
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Angebot • Nachfrage

Tab. 14 *BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Machbarkeitsstudie zur Prüfung eines Deutschland-Takts im Schienenverkehr [14]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Prüfung der betrieblich-technischen Machbarkeit • Evaluation von verschiedenen Szenarien • Wirtschaftliche Abschätzung von Planfallvarianten
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Methodischer Ansatz für eine Auswertung von Angebotskonzepten durch Ermittlung von realisierbaren Zugzahlen, Kapazitäten und Restkapazitäten, Fahr- und Reisezeiten sowie Umsteigehäufigkeiten und Zeitbedarf.
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Durch nicht hinreichende Abstimmung zwischen den einzelnen Zugangeboten können unattraktive Umsteigezeiten entstehen. • Fahrzeitgewinne durch Nutzung von Fernverkehrszügen auf Schnellfahrstrecken werden mit Umsteigezwang häufig neutralisiert.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Deutschland-Takt

Tab. 15 *Clever Reinhard: Schnelligkeit oder Häufigkeit – Überlegungen zur Einführung des Integralen Taktfahrplans [15]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Theoretische Überlegungen zum Entwurf eines ITF • Vor- und Nachteile des ITF • Benchmarking mit Niederlande resp. Frankreich
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Beurteilung der Vor- und Nachteile des ITF mit Auswertung von Kundenanforderungen
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Thesen zum ITF bezüglich Abstimmung Angebot und Nachfrage, Kapazitäten, optimalem Takt, zeitlicher Verfügbarkeit etc.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Knotenbahnhöfe (hier auch: Sternbahnhöfe) • Umwegfaktor • Zuggattungen

Tab. 16 *FGSV, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen: Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan [16]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Wann lohnt sich ein ITF und wann nicht
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• «Bei hohem Verkehrsaufkommen, welches einen Takt von <15 min erfordert, ist davon auszugehen, dass diese geringen Takte für Kunden [...] ein Umsteigen ohne unakzeptierte Wartezeiten erfolgen kann.»
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Im städtischen Verkehr müssen nicht alle Linien an den FV angebunden sein, da der meiste Verkehr in der Stadt passiert.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Dichte Takte • Städtischer Verkehr • Fernverkehr

Tab. 17 *Liebchen Christian: Fahrplanoptimierung im Personenverkehr – muss es immer ITF sein? [18]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Beleuchtung verschiedener Fahrplantypen wie Einzelfahrten, Taktfahrplan, symmetrischer Taktfahrplan und ITF und Charakterisierung dieser Ansätze
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Herausarbeitung von Stärken und Schwächen von verschiedenen Fahrplanstrategien
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Die lange Lebensdauer von Schieneninfrastruktur verhindert Schrittinnovationen • Die Dimensionierung der ITF-Knoten auf Vollknoten ergibt Auslastungslücken • Die Auslastungsspitzen in ITF-Knoten führen zu einer hohen Verspätungsanfälligkeit • Ein ITF-System weist einen geringen Grad an Flexibilität bezüglich operativer Betriebsführung. Es ergibt sich eine schlechte durchschnittliche Auslastung und es kann kaum auf Nachfrageschwankungen reagiert werden.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Symmetrie • Taktfahrplan

Tab. 18 *Rey Georges: Entwicklung des ITF Anfänge – Gegenwart – Zukunft, anlässlich Eisenbahntechn. Kolloquium [20]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Grundlagen und historische Entwicklung des ITF • Planungsmethodik des ITF
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• «Spiegelung» der Ergebnisse des Forschungsprojekts bezüglich Einhaltung von Grundsätzen
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• These, dass sich der Fahrgast bei einem idealen Taktfahrplan ähnlich frei und ungebunden wie im Individualverkehr bewegen kann (Optimierung der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit) • Der ITF dient dem effizienten Einsatz der öffentlichen Mittel (Steigerung der Erlöse, Senkung der Stückkosten aufgrund Fliessbandproduktion)
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• ITF • Symmetriezeiten • Starrer und beweglicher Fahrplan

Tab. 19 *Stohler Werner, Stähli Luigi Schröder Philipp: Geschichte / Entwicklungsperspektiven der langfristigen Fahrplan-Planungsprozesse in Europa [22]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Auswirkungen der Eisenbahn-Pakete der EU (Bahnreform) • Vergleich der Umsetzung in der Schweiz, in Deutschland, in Frankreich und in Spanien
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Erläuterung der produktorientierten Planungsphilosophie bei der Fahrplanerstellung
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• Erfolgsfaktor des ÖV-Systems Schweiz ist die Planungsphilosophie mit dem „Produkt“ als Zielfunktion und den technischen Komponenten als Mittel zum Zweck • Notwendigkeit einer hohen geografischen Verfügbarkeit (Vernetzung innerhalb der Bahn und mit allen Zubringersystemen) und hohe zeitliche Verfügbarkeit (von früh bis spät, an allen Wochentagen und in einer der Nachfrage angepassten Frequenz)
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Bahnreform • Trassenkatalog

***Tab. 20** Avelino, F. / Te Brömmelstroet, M. / Hulster G: The Politics of Timetable Planning: Comparing the Dutch to the Swiss [24]*

Kurzbeschreibung Inhalt:	• Vergleich der unterschiedlichen Ansätze zur Entwicklung von Angebotskonzepten in den Niederlanden und in der Schweiz
Relevanz für das Forschungsprojekt:	• Unterschiedliche Ansätze bei der Verdichtung des Angebots • Notwendige Taktverdichtungen zur Auflösung eines ITF • Abstimmung von Takt und Produktkategorien zur Maximierung von Streckenkapazitäten
Enthaltene Grundlagen / Hypothesen / Kernaussagen:	• In den Niederlanden besteht eine starke Fixierung auf Betriebsstabilität und -qualität, während in der Schweiz die totale Reisezeit und eine Optimierung der gesamten Transportkette im Vordergrund steht.
Relevante Begriffe / wichtigste Stichwörter (Tags):	• Fahrplanplanung • Fahrplanpolitik • Niederlande

2.2 Begriffe

Im Glossar am Ende dieses Forschungsberichts ist eine Übersicht der relevanten Begriffe in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

Im Folgenden sind die massgebenden Begriffe für das Forschungsprojekt im Detail erläutert.

2.2.1 Anschlussspinne (Anschlussuhr)

Die sogenannte Anschlussspinne ist die Darstellung der Ein- und Ausfahrens der jeweiligen Linien in einem Knoten:

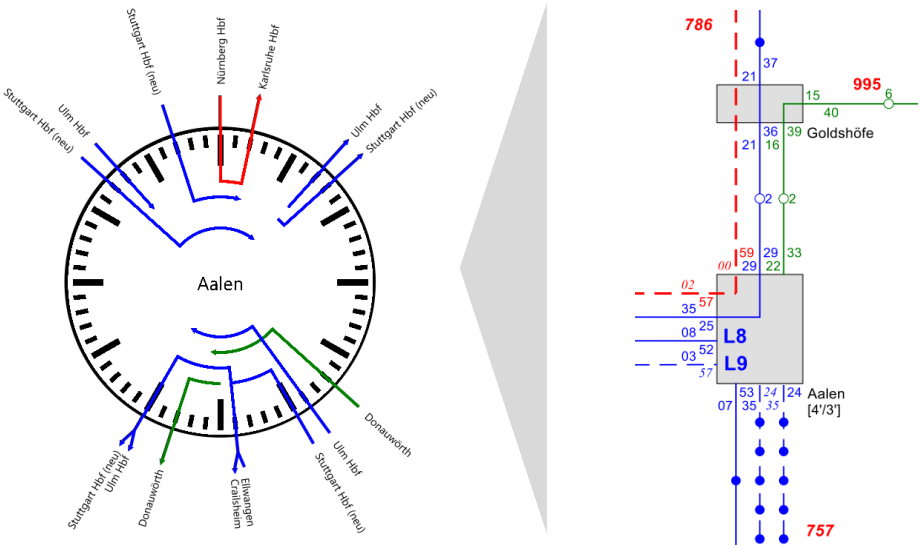
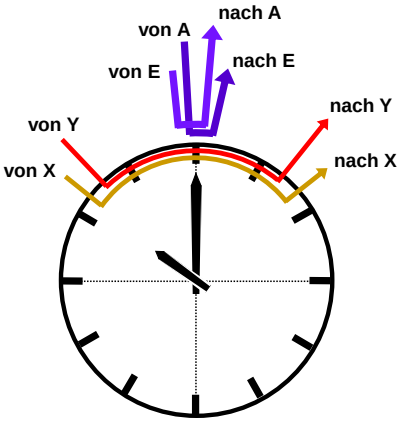


***Abb.2** Beispiel einer Anschlussspinne eines Vollknotens zur Minute 00*

Bei Kenntnis der minimalen Umsteigezeit lassen sich mit der auch Anschlussuhr genannten Darstellung erreichte resp. verpasste Anschlüsse erkennen.

2.2.2 Vollknoten

Bei einem Vollknoten sind alle Anschlüsse zwischen den verschiedenen Linien in einem Knotenbahnhof aufeinander abgestimmt:



Problematik Überschneiden der Knoten:

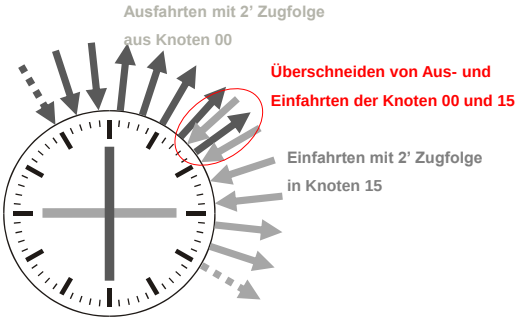


Abb.3 *Darstellung Vollknoten und Überschneiden der Knoten*

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

Bei grossen Knoten mit vielen Zügen auf einer identischen Ein-/Ausfahrt kann es bei Knoten 00/30 und 15/45 aufgrund der notwendigen Staffelung mit 2 Minuten Zugfolge zu einem Überschneiden der letzten Ausfahrten aus dem Knoten 00 bereits mit den ersten Einfahrten des Knoten 15 kommen (siehe Abbildung rechts).

2.2.3 Aufgelöster Knoten

Bei einem aufgelösten Knoten (siehe Darstellung rechts in der untenstehenden Abbildung) sind die Anschlüsse zwischen den verschiedenen Linien in einem Knotenbahnhof nicht aufeinander abgestimmt und zufällig entstanden:

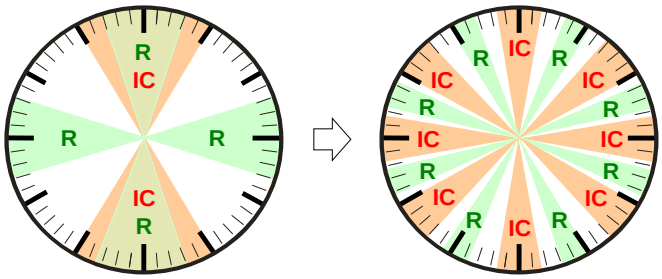


Abb.4 *Vergleich Vollknoten mit aufgelöstem Knoten*

Die Lagen der Züge sind nicht bezüglich Umstiegen sondern nach anderen Kriterien festgelegt bzw. optimiert.

2.2.4 Richtungsknoten

Die Anschlüsse in einem Knoten sind im Gegensatz zu einem Vollknoten nur einer Richtung möglich:

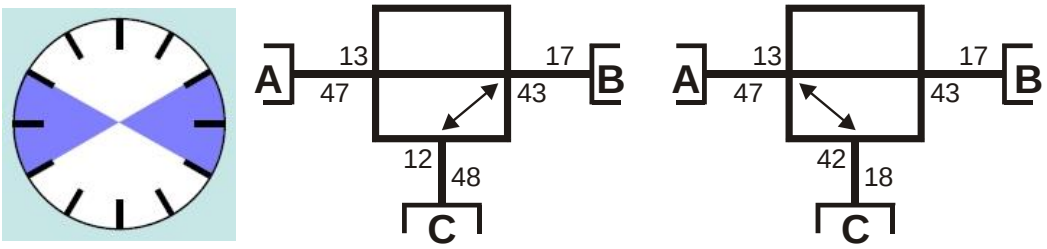


Abb.5 *Darstellung Richtungsknoten*

Mit einer Verdichtung lässt sich ein Richtungs- zum Vollknoten ausbilden (Beispiel Richtungsknoten 15/45 mit Linien im 60'-Takt; falls die Linien im 30-Takt verkehren, entsteht ein Vollknoten).

Ein Richtungsknoten ist auch vorhanden, wenn Anschlüsse nicht über den betreffenden Knoten laufen (Beispiel Zürich HB: Anschluss von Bern nach Basel funktioniert nicht; die Verbindung wird via Olten angeboten).

2.2.5 Fliessbandprinzip

Eine Linie ist nicht in den Vollknoten eingebunden, sondern liegt – mit minimaler kommerzieller Haltezeit – im Knotensegment dazwischen (siehe Darstellung rechts in der untenstehenden Abbildung):

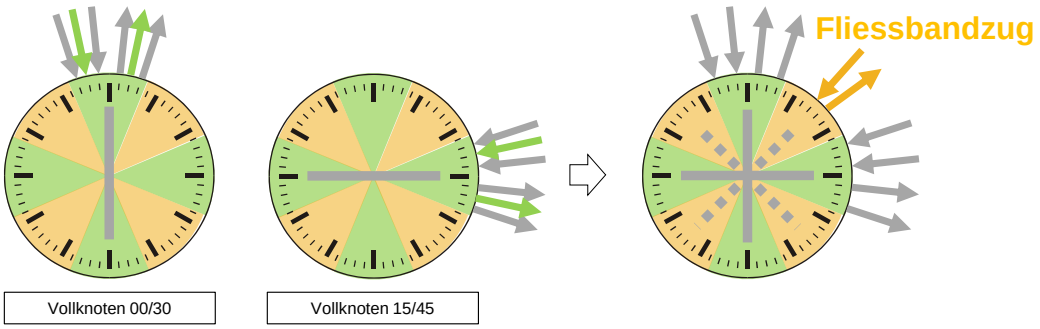


Abb.6 *Darstellung Vollknoten und Fliessbandprinzip*

Die Fliessbandlinie kann Zubringer- / Wegbringer für die Linien im Vollknoten sein.

2.2.6 Symmetrie, Nullsymmetrie

Fahrplansymmetrie: Ein symmetrischer Fahrplan mit einer Symmetrieachse entsteht automatisch bei der Einführung eines identischen Angebots in der Gegenrichtung:

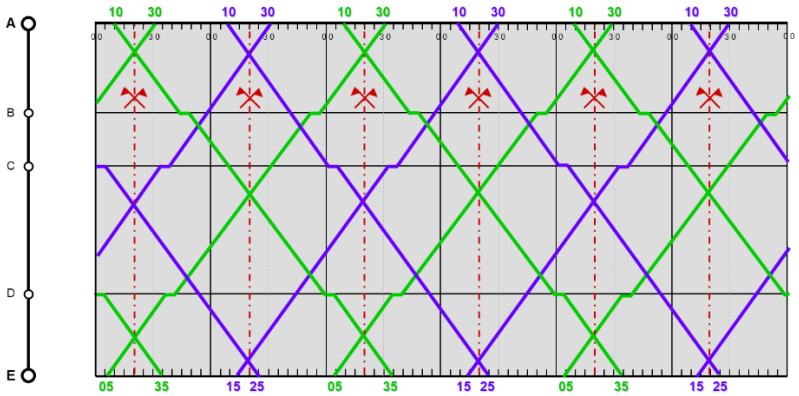


Abb.7 *Darstellung der Fahrplansymmetrie im Zeit-Weg-Diagramm (Bildfahrplan)*

Nullsymmetrie: Fahrlagenanpassung zur europäischen Standard-Symmetrie-Minute 00 und Einrichtung der Kreuzungen an den Unterwegsstationen C und D:

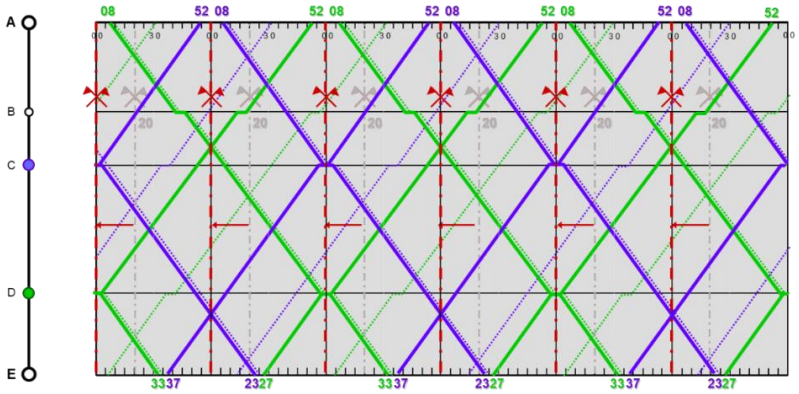


Abb.8 *Darstellung der Nullsymmetrie im Zeit-Weg-Diagramm (Bildfahrplan)*

2.2.7 Taktfahrplan

Der Taktfahrplan ist ein Fahrplan mit regelmässigen Takten zwischen einzelnen Zügen einer Linie:

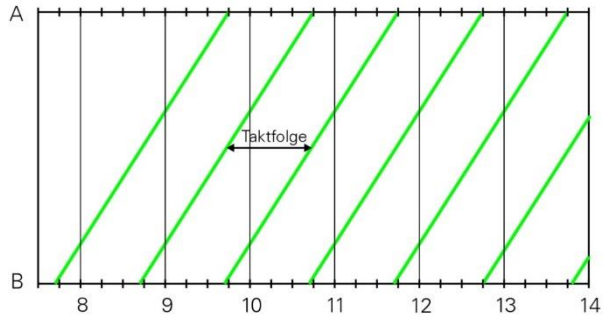


Abb.9 *Darstellung der Taktfolge 60' im Zeit-Weg-Diagramm (Bildfahrplan)*

Die Angebote sind in Zugfamilien organisiert, welche – abgestimmt mit der Nachfrage oder politischen Vorgaben – in regelmässigen Takten (Intervall bzw. Frequenz von 60 Minuten, 30 Minuten, 15 Minuten usw.) verkehren. Die Charakteristiken dieser Zugfamilien sind in beiden Richtungen:

- identische Laufwege
- identische Haltepolitik
- identische Reisezeiten
- identische Anschlüsse

2.2.8 Weitere Begriffserklärungen / Darstellungen

Takt eines Knotens (Knotentakt) und Fliessbandlinie:

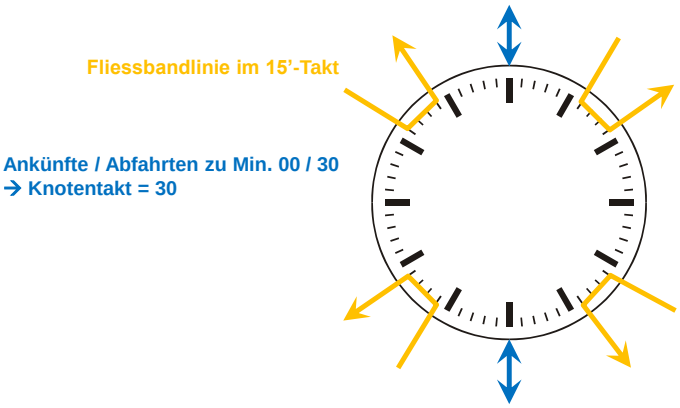


Abb.10 *Fliessbandlinie und Knotentakt*

Die Taktdichte der Linien in einem Knoten (systematisiertes Angebot) stellt den Knotentakt dar (im gezeigten Beispiel: 30). Die Taktdichte von Linien ist der Knotentakt oder ein Vielfaches des Knotentakts; also z.B. 30-Minuten- oder 15-Minuten-Takt (längere Takte sind möglich, müssten dann jedoch bei mehr als einer Linie aufeinander abgestimmt sein).

Die Fliessbandlinie muss keine Anschlussfunktionen erfüllen. Die Linie verkehrt im Fliessbandprinzip – d.h. mit minimaler kommerzieller Haltezeit – durch einen Knoten (hier im 15-Minuten-Takt).

Taktfamilien und Verdichtung:

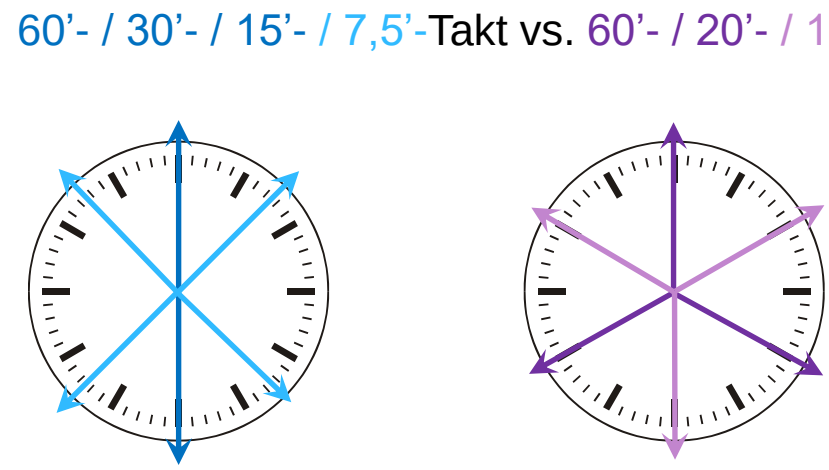


Abb.11 *Taktfamilien und Verdichtung*

Dargestellt sind die abweichenden Stufen der Verdichtung bei auf 15-Minuten- resp. 10-Minuten-Takten aufgebauten Systemen resp. Konzepten.

Anschlüsse in Knoten mit unterschiedlichen Taktfamilien 30-Minuten-Takt / 20-Minuten-Takt:

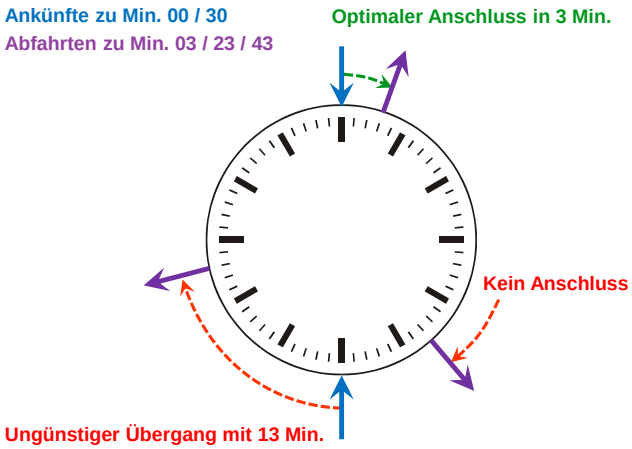


Abb.12 *Problematik unterschiedliche Taktfamilien*

Aufbauend auf der oben aufgeführten Darstellung der Taktfamilien und ihrer Möglichkeiten der Verdichtung ist hier die Problematik der Anschlussherstellung bei unterschiedlichen Taktfamilien in einem Knoten gezeigt.

Korrespondenz:

Als Ausgangslage sind 2 Linien (Minimale Haltezeit jeweils 3' /Zugfolgezeit = 2' / Umsteigezeit = 3') mit in Summe 10' Haltezeit (entweder 2 x 5' (siehe Grafik) oder 3' + 7') vorhanden:

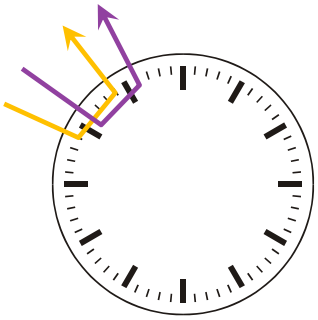


Abb.13 *Korrespondenz von zwei Linien*

Da die beiden Linien jeweils mehr als die minimale Haltezeit aufweisen, handelt es sich nicht um Fliessbandlinien. Sie sind so angeordnet, dass sie aufeinander Anschluss bieten. Es handelt sich entsprechend um eine Korrespondenz oder einen Korrespondenzknoten, im dargestellten Beispiel in Form eines Achtelknotens (Minute 52.5).

Vermeidung von zu «breiten» Knoten:

Dargestellt ist links ein Shuttle-System (d.h. mit hier endenden Linien) mit Ankünften zu den Minuten 58 und 00. Dabei sind Wenden der Linie gelb in 4' sowie der Linie violett in 0' nicht möglich (d.h. bei Halbstundentakten: Wendezeiten von 34' und 30'). Zudem ist ein Umsteigen von Linie gelb auf Linie Violett nicht machbar.

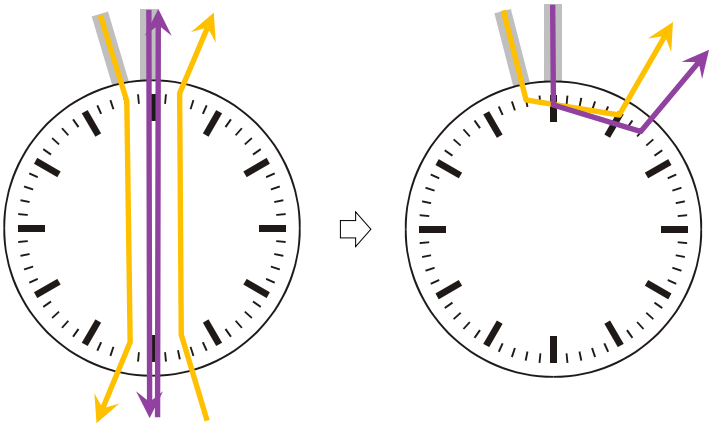


Abb.14 *Vermeidung von zu «breiten» Knoten*

Damit die letztmöglichen Einfahrten zu den Minuten 58 und 00 also genutzt werden können (Knoten in ihrer zeitlichen «Breite» minimieren), sind deshalb die letzten Ankünfte als Durchbindungen zu planen (Darstellung rechts).

2.3 Relevante Parameter

Aus den Grundlagen hat die Forschungsstelle die relevanten Parameter der Einflüsse und Wirkungen im Zusammenhang mit Taktdichte und Knotenausgestaltung identifiziert resp. abgeleitet und in einem Workshop mit der Begleitgruppe sowie den Experten diskutiert und verifiziert.

Das Zielsystem enthält die Ziele, an denen die verschiedenen Knotentypen nachfolgend gemessen werden. Indikatoren definieren, anhand welcher Kenngrössen die Ziele gemessen werden. Einflussparameter schliesslich bestimmen die verschiedenen Ausprägungen der Knotentypen. Dabei bestehen folgende Zusammenhänge:

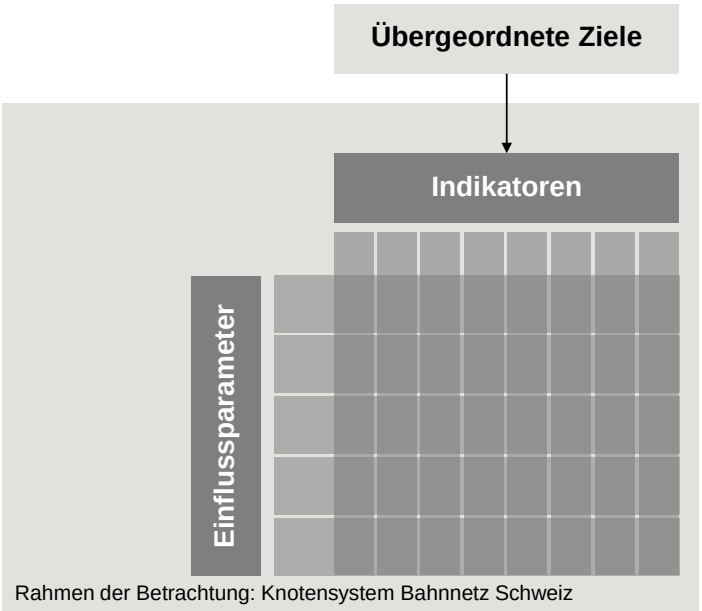


Abb.15 *Grundsätzliche Betrachtungsweise übergeordnete Ziele, Indikatoren, Parameter*

2.3.1 Übergeordnete Ziele

Die übergeordneten Ziele der Forschungsarbeit orientieren sich an den Zielen des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) resp. des Bundesamts für Verkehr (BAV).

Die Strategischen Leitsätze 1 bis 4 aus dem Dokument «Öffentlicher Verkehr – für die Schweiz: Strategie BAV 2019» gelten als übergeordnete Ziele der Forschungsarbeit:

Strategische Leitsätze

1. Der öV ist als Teil der Gesamtmobilität attraktiv für alle Nutzergruppen.
2. Der öV unterstützt die wirtschaftliche Entwicklung der Schweiz und nutzt die technologische Entwicklung, abgestimmt auf Raumordnung und andere Verkehrsträger
3. Der öV ist sicher und wahrt seinen Umweltvorteil.
4. Der öV ist langfristig finanziert und effizient.

Abb.16 *Übergeordnete Ziele*

2.3.2 Indikatoren

Die Forschungsstelle hat zu Beginn der Forschungsarbeit zusammen mit der Begleitgruppe und den Experten folgende Indikatoren zur Messung der Zielerreichung festgelegt:

			1.	2.	3.	4.
Fokus	Indikator	Anmerkung	Teil Gesamtmobilität / attraktiv für alle Nutzer	Abstimmung Raumordnung + Verkehrsträger	Sicherheit / Umweltvorteil	langfristig finanziert / effizient
K, V, B	Reisezeitäquivalent (Reisezeiten, # Verbindungen, # Umstiege)	gewichtet mit Nachfrage	x			
K, V, B	Zeitverlust im Knoten	gewichtet mit Nachfrage	x			
V, B	Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende öV-Angebote	RV Bahn, Bus, Ortsverkehr	x		x	
K, B	Heutige ÖV-Systeme (Knoten, Takte), Anzahl Sekundärknoten		x		x	
K, V, B	Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen	«ÖIV», «Stetigförderer»	x	x	x	
K, V, B	Abbaubarkeit Angebot in Randstunden				x	x
K, B	Nutzbarkeit öV durch Personen mit eingeschränkter Mobilität		x			
K	Stabilität Transportkette	Kundensicht	x			
V, B	Ressourceneinsatz EVU (Rollmaterial)				x	x
I, B	Kapazitätsbedarf / Infrastrukturbedarf Strecke	zusätzliche Streckengleise		x		x
I, B	Kapazitätsbedarf / Infrastrukturbedarf Knoten	zusätzliche Perrongleise		x		x
I, B	Trassen für den Güterverkehr (Kapazität, Qualität)	Mischverkehrsstrecken	x		x	x
I, B	Infrastrukturbedarf Publikumsanlagen	wegen Belastungsspitzen				x
B	Erreichbarkeit von anderen Zentren (Raumtypen)	Mit Typologie für 9 Kategorien		x	x	

K: Fokus Kunde, V: Fokus EVU, I: Fokus EIU, B: Fokus Besteller / Behörde

Abb.17 *Indikatoren zur Messung der Zielerreichung (violett: auch im Modellknoten ausgewertet)*

In der Abbildung ist in den letzten vier Spalten auch jeweils die Zuordnung zu den vier strategischen Leitsätzen aufgeführt.

Die Nachfrage ist grundsätzlich in allen Szenarien als konstant fixiert. D.h. es wird keine Nachfragewirkung unterstellt.

Für die theoretische Analyse der Knoten (siehe Kapitel 0) muss auf die innerhalb eines Knotens messbaren Indikatoren eingegrenzt werden. Dies sind im Wesentlichen die Verlustzeit der Reisenden im Knoten, die Anzahl benötigter Perrongleise und die Kapazitäten für den Güterverkehr (siehe Indikatoren in violetter Farbe in der Abbildung). In der Beispielanwendung (siehe Kapitel 5) sind weitere Indikatoren einbezogen.

Die Indikatoren sind anhand Zweckmässigkeit und Verfügbarkeit teilweise qualitativ und teilweise quantitativ eingeschätzt. Im Kapitel 6.2 resp. 7.2 werden die oben aufgeführten Indikatoren deshalb wieder aufgegriffen, geschärft und anhand der Beispielanwendung ausgewertet.

2.3.3 Einflussparameter

Die Einflussparameter mit Bezug zur Fragestellung «Ab welchem Takt ist eine Auflösung von Knoten sinnvoll?» sind:

Einflussparameter	mögliche Ausprägungen je Einflussparameter						
Ausgestaltung Knoten	Vollknoten	Richtungs-knoten	Korrespon-denz	Fliessband	aufgelöst		
Knotentakt	60	30	20	15	10	7.5	5
kompatible Takte von Linien	60	30	20	15	10	7.5	5
Anzahl Produktkategorien / Haltepolitik	4	3	2	1			
Durchbindungen von Linien im Knoten	über-wiegend	letzte / erste	keine (Shuttle)				

Abb.18 *Einflussparameter (morphologischer Kasten)*

Bei der Ausgestaltung der Knoten sind Vollknoten, Richtungsknoten, Korrespondenz, Fliessband sowie der aufgelöste Knoten möglich. Die entsprechenden Charakteristiken dieser möglichen Ausprägungen sind in Kapitel 2.2 erläutert.

Die Taktdichte der Linien in einem Knoten ist der Knotentakt. Die Taktdichte von Linien entspricht dem Knotentakt oder einem Vielfachen des Knotentakts. Längere Takte sind möglich, müssten jedoch bei mehr als einer Linie aufeinander abgestimmt sein (siehe dazu auch Kapitel 2.2.8).

Im Schweizer Kontext und im Zusammenhang mit einem Fernverkehrs-System sind Takte über 30 Minuten (ggf. 60 Minuten) und unter 7.5 Minuten (ggf. 5 Minuten) nicht relevant und werden nicht betrachtet.

Bei den Produktkategorien ist unterschieden nach Reisegeschwindigkeit resp. Haltepolitik. Mischformen (z.B. 1 Produkt, Züge halten aber an unterschiedlichen Bahnhöfen) sind hier nicht betrachtet.

Bei den Durchbindungen sind die beiden Extreme «überwiegend» und «keine» (Shuttle-System sowie Durchbindung der letzten / ersten Linien im Knoten als Optionen denkbar.

2.4 Schärfung Forschungshypothesen

Aus den relevanten Parametern lassen sich folgende geschärften Forschungshypothesen ableiten:

These 1:

Bei einer Taktfolge kleiner oder gleich 15 Minuten können Vollknoten aufgelöst werden, wobei sich die Reisezeiten der Kunden nicht verlängern, sondern bestenfalls verkürzen.

These 2:

Der Entfall der Randbedingung, Anschlüsse sicherzustellen, erhöht den Freiheitsgrad bei der Fahrplanerstellung.

These 3:

Das Auflösen von Vollknoten reduziert die Spitzenbelastungen von Publikumsanlagen und Gleisanlagen in Bahnhöfen (Knoten) und somit auch den Ausbaubedarf. Durch gleichmässigere Auslastung ist ausserdem ein Kapazitätsgewinn bei gegebener Infrastruktur zu erwarten.

These 4:

Eine Auflösung von Knoten erhöht die netzweite Betriebsstabilität, u.a. durch Entfall des Zwangs, Anschlüsse abzuwarten und durch eine gleichmässigere Auslastung des Netzes.

Im Kapitel 8.1.5 werden diese Forschungshypothesen wieder aufgegriffen und bezüglich Zielerfüllung eingeschätzt.

Der Güterverkehr wird auch untersucht und berücksichtigt, ist jedoch nicht Bestandteil der Forschungshypothesen.

3 Fallbeispiele

3.1 Übersicht Vorgehen

Für die Betrachtung der Fallbeispiele hat die Forschungsstelle relevante Netze in der Schweiz, Europa sowie in Japan identifiziert und 6 davon für eine genauere Betrachtung ausgewählt. Der Fokus liegt auf Netzen mit unterschiedlichen Taktdichten des langläufigen Verkehrs, welche Knoten mit oder ohne ausgeprägte Anschlüsse beinhalten. Die Quelle der Daten umfassen Datenbestände der Forschungsstelle, Beiträge der von der Forschungsstelle beigezogenen Experten sowie ergänzenden Recherchen aus Berichten und Interviews von an der Konzeptausarbeitung beteiligten Fachleuten.

Die Fallbeispiele sind in Form von Steckbriefen mit Angaben zu den vorliegenden Kennwerten sowie einer Beschreibung der vergangenen und künftigen Entwicklung inkl. Abbildungen dokumentiert (vgl. Anhang I).

Die Gegenüberstellung der Fallbeispiele ermöglicht schliesslich den direkten Vergleich mit dem Knotensystem Schweiz.

3.2 Betrachtete Fallbeispiele

Für die Betrachtung ideal sind Beispiele mit einem dokumentierten Wechsel von Vollknoten zu aufgelösten Knoten im Zusammenhang mit einer Taktverdichtung. Dies ist in gewissem Umfang im Fallbeispiel des Fernverkehrs in den Niederlanden der Fall. Im Beispiel des RegioTrams Kassel besteht ein Wechsel eines Systems mit und ohne Knoten in Abhängigkeit der Taktdichte während der HVZ und der NVZ. Im Übrigen wurden Beispiele von Systemen mit dichtem und möglichst vertaktetem langläufigen Verkehr ausgewählt. Um auch ein Beispiel mit Korrespondenz aufzuzeigen, sind die beiden Korrespondenzknoten Arth-Goldau und Mannheim in einem Steckbrief zusammengefasst, obwohl dies keinem Netz entspricht.

Die folgende Tabelle liefert eine Übersicht über die Fallbeispiele. Die Steckbriefe sind im Anhang I zu finden.

***Tab. 21** Übersicht Fallbeispiele*

Beispiel	Land, Region/Ort	Knotentypen	Takte
Fernverkehrsnetz Schweiz, Angebotskonzept gemäss STEP Ausbauschritt 2035	Schweiz, national	Vollknoten und Richtungsknoten, teilweise Korrespondenz	15 – 30 Minuten
Fernverkehrsnetz Niederlande	Niederlande, national	aufgelöste Knoten, teilweise Richtungsknoten und vereinzelt Vollknoten	10 – 30 Minuten
Integraler Taktfahrplan in Nordrhein-Westfalen, RRX-Konzept	Deutschland, NRW	aufgelöste Knoten, teilweise Vollknoten	15 – 30 Minuten
Bahnnetz JR East	Japan, Regionen des Bahnunternehmens JR East	aufgelöste Knoten teilweise Richtungsknoten	20 – >60 Minuten, im Kern überlagert
RegioTram Kassel	Deutschland, Kassel	Richtungsknoten SVZ, aufgelöste Knoten HVZ/NVZ	15 – 30 Minuten
ausgewählte Korrespondezknoten	Deutschland, Mannheim Schweiz, Arth-Goldau	Korrespondenz	30 – 60 Minuten

3.3 Gegenüberstellung und Schlussfolgerungen

Die folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die wichtigsten Charakteristika der Fallbeispiele.

***Tab. 22** Charakterisierung der Fallbeispiele*

	FV Schweiz AS 2035	**FV NL**	**ITF NRW RRX-Konzept**	**Japan, JR East**	**RegioTram Kassel**	**Mannheim, Arth-Goldau**
vorkommende Knotentypen	Vollknoten Richtungsknoten Korrespondenz	Richtungsknoten aufgelöst z.T. Vollknoten	aufgelöst z.T. Vollknoten	aufgelöst z.T. Richtungs-knoten	Richtungsknoten (Schwachver-kehrszeit) aufgelöst (HVZ/ NVZ)	Korrespondenz
Knotentakte	30’ 15’ punktuell	30’	30’	Nicht systematisch	30’	60’
Takte der Linien	30’, teilweise 15’ (z.T. aus überlagerten 60’-Takten)	10’ bis 30’ (aus über-lagerten 30’-Takten)	30’ (durch Überlagerung z.T. deutlich dichteres Angebot); 15’ Kernnetz/ S-Bahn (z.T. aus überlagerten 30’-Takten)	20’ bis >60’ (durch Überlagerung z.T. dichteres Angebot)	15’ bis 30’ HVZ/NVZ 30’ SVZ	60’
Produkte-kategorien	2 FV (und 2 RV)	1 FV (und 1 RV)	4	>4	2 (Tram und RegioTram)	1 FV
Durch-bindungen in Knoten	= Regelfall, oft alternierend	= Regelfall, oft alternierend	= Regelfall, beim FV alter-nierend	= Regelfall bei Shinkansen, Ausnahme im konvent. Netz	= Regelfall	= Regelfall
Angewendeter Knotentyp nach Takt	Beibehaltung Knoten auch mit teilweisen 15’-Takten	Richtungsknoten bei 30’- und 15‘-Takten, Knotenauflösung bei 15’- und 10’-Takten	Aufgelöste Knoten im 15’-Kernnetz, Vollknoten an Aussenknoten 30’	Aufgelöste Knoten, nur punktuell Richtungs-knoten; Fokus effizienter Linienbetrieb	Richtungsknoten bei 30’-Takten, Auflösung bei 15’-Takten (Wechsel im Ta-gesverlauf)	per Definition keine Auflösung

Das Schweizer Fernverkehrsnetz wird gemäss Angebotskonzept zum Ausbauschritt 2035 nahezu umfassend zu einem 30-minütlichen Knotensystem entwickelt. Durch Überlage-rungen von Linien (auch verschiedener Produktekategorien) entstehen zudem abschnitts-weise 15-minütliche Angebote, welche in Grossknoten untereinander punktuell auch mit viertelstündlichen Anschlüssen verknüpft sind.

Ein Wechsel zu teilweiser Auflösung von Taktknoten hat die Niederlande im Fernverkehrs-netz im Zusammenhang mit einer Taktverdichtung auf bis zu 10 Minuten vollzogen. Hierbei ist zu beachten, dass diese Angebotsdichte nur auf hoch nachgefragten Abschnitten be-steht und durch Überlagerung von weiterführenden 30- und 15-Minuten-Takten gebildet sind (mit den entsprechenden Synchronisationszeiten und Schwierigkeiten bei der Aus-dünnung in Randstunden). In Aussenknoten mit weiterhin 30-minütlichem Angebot bestehen auch weiterhin einzelne Vollknoten. Im Übergangsbereich von 30-Minuten-Takten auf 15-Minuten-Takte sind ausgewählte Richtungsanschlüsse vorhanden. Der Anwendungs-bereich von Vollknoten, Richtungsknoten und Auflösung stützt sich somit auf die Taktdichte von 30 über 15 zu 10 Minuten.

Im ITF NRW bestehen in Aussenknoten halbstündliche Anschlusspinnen. Im Kernbereich mit überwiegend 15-Minuten-Takten, oder durch Linienüberlagerung von noch höheren Angebotsdichten, bestehen keine ausgeprägten Taktknoten.

Das Angebot der RegioTrams Kassel wechselt im Tagesgang zwischen einem Betrieb mit aufgelösten Knoten bei 15-Minuten-Grundtakt und dem Betrieb mit Anschlussspinnen bei 30-Minuten-Grundtakt. Eine Knotenauflösung bei 15-Minuten-Takten besteht hier also auch in einem Netz mit kürzeren Reisewegen/-zeiten als in den Fernverkehrsnetzen der übrigen Fallbeispiele. Auf Grund von überlagerten Takten in HVZ und NVZ bestehen im

Kasseler Netz die Prioritäten eines städtischen Netzes bezüglich Kapazitätsnutzung Betrieb und Kursfolge, welche z.T. im Widerspruch zur Ausbildung von Taktknoten stehen.

Mit einem betrieblich optimierten Fokus betreibt auch die JR East ihr Netz. Taktknoten sind auch bei Knoten mit geringer Taktdichte die Ausnahme. Studien weisen jedoch auch für dieses Netz ein Verbesserungspotenzial für die Verbindungsdichte und die Reisezeit von Umsteigeverbindungen nach, falls vermehrt Taktknoten mit Anschlüssen ausgebildet würden.

Zusammenfassend bestätigt sich der Hauptanwendungsbereich von Vollknoten bei Takten von 30 Minuten oder mehr. Richtungsknoten bestehen verschiedentlich auch für Taktdichten von 15 Minuten. Linien mit Takten von 15 Minuten und weniger sind in den untersuchten Fällen nicht in 15-minütliche Anschlussspinnen eingebunden. Das Angebot des Expressverkehrs in der Schweiz gemäss Ausbauschritt 2035 geht im Kernbereich ansatzweise in die Richtung von viertelstündlichen Anschlussspinnen. Gegenüber dem heutigen Angebot mit halbstündlichen Anschlüssen (z.B. in Bern zu den Minuten 00 und 30) kommen viertelstündlich versetzt zusätzliche Anschlüsse hinzu (z.B. in Bern zu den Minuten 15 und 45).

4 Theoretische Modellknoten

4.1 Übersicht Vorgehen

Die Forschungsstelle hat idealisierte theoretische Knoten (Modellknoten) entwickelt, welche repräsentativ für mittelgrosse Knoten in der Schweiz sein können (z.B. Biel, Brugg etc.). Des Weiteren sind Test-Szenarien für die relevanten Einflussparameter konkretisiert worden.

Es war ein Test-Modell in Excel für die Wirkung der Variation der Einflussparameter auf die Indikatoren aufzubauen. Dabei sind die idealisierten Knoten als Netzgrafik-Ausschnitte in Viriato dargestellt.

Für die theoretische Analyse der Wirkungszusammenhänge hat die Forschungsstelle folgende Szenarien gebildet:

Einflussparameter	mögliche Ausprägungen je Einflussparameter						
Ausgestaltung Knoten	Vollknoten	Richtungs-knoten	Korrespon-denz	Fliessband	aufgelöst		
Knotentakt	60	30	20	15	10	7.5	5
kompatible Takte von Linien	60	30	20	15	10	7.5	5
Anzahl Produktkategorien / Haltepolitik	4	3	2	1			
Durchbindungen von Linien im Knoten	über-wiegend	letzte / erste	keine (Shuttle)				

Abb.19 *Szenarien Einflussparameter*

Diese relevanten Szenarien stellen im aktuellen Kontext des Schweizer Bahnlandsystems sinnvolle Ausprägungen resp. Kombinationen von Ausprägungen der Einflussparameter dar.

Im Folgenden wird im Modell eine Variation der Einflussparameter vorgenommen.

- Ausgestaltung der Knoten: Es werden alle Typen mit Ausnahme des Richtungsknotens betrachtet. Der Richtungsknoten wird in konkreten Fällen angewendet, bei welchen Verbindungen nicht via den betreffenden Knoten laufen. Verbindungen ausserhalb des Modellknotens werden nicht betrachtet.
- Knotentakte: Es werden die für die Forschungsfrage relevanten Takte 30 und 15 Minuten untersucht.
- Takte von Linien: Betrachtet werden 30’/15’/10’/7.5’-Takte. Ein Takt von 60’ wird nicht betrachtet, da kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn daraus erwartet wird und im schweizerischen Kontext künftig nicht mehr relevant.
- Anzahl Produktkategorien: Die Analyse wird aus Gründen der Vergleichbarkeit mit dem heute und bis zum AS 2035 bestehenden Prinzip mit 4 Produktkategorien durchgeführt.
- Durchbindungen: Die Durchbindungen werden im Rahmend der unterschiedlichen Knotentypen variiert.

Es wird die Wirkung auf ausgewählte Indikatoren (Summe Zeitverluste der Fahrgäste im Knoten, Anzahl erforderliche Perrongleise, Standzeit von (durchfahrenden) Zügen, Länge der Umsteigezeiten etc.) ausgewertet. Dabei werden die Abhängigkeiten in Diagrammen dargestellt und entsprechend interpretiert.

Im folgenden Kapitel sind die wichtigsten Erläuterungen und Erkenntnisse zusammengefasst. Die detaillierten Berechnungsergebnisse mit ausführlichen Tabellen und Graphen sind im Anhang II zu finden.

4.2 Szenarien für die theoretische Analyse Wirkungszusammenhänge

4.2.1 Untersuchte Modellknoten

Die Hauptergebnisse basieren auf dem sogenannten Modellknoten I, welcher einen mittelgrossen Knoten wie z.B. Biel repräsentieren soll:

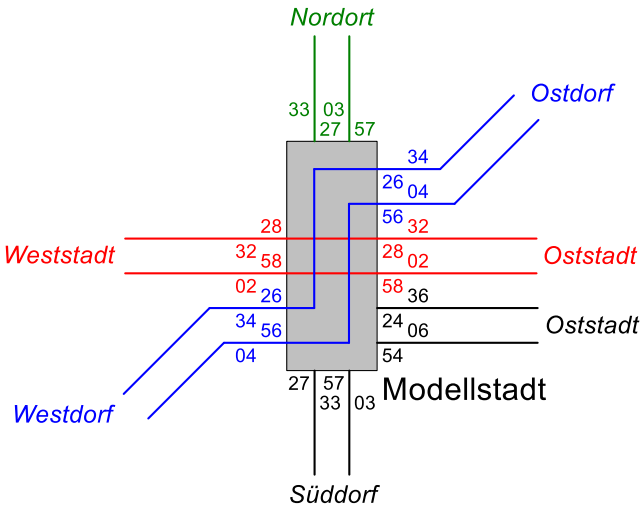


Abb.20 *Modellknoten I*

Der Modellknoten I stellt ein Durchgangsbahnhof mit 5 Linien dar:

- IC auf Hauptstrecke West-Ost
- IR West-Ost auf identischer Ein-/Ausfahrt (2 Min. Zugfolge notwendig)
- S mit Wende in Modellstadt auf Ein-/Ausfahrt wie IC und IR (2 Min. Zugfolge notwendig)
- RE mit Wende in Modellstadt mit unabhängiger Ein-/Ausfahrt
- S mit Wende in Modellstadt mit unabhängiger Ein-/Ausfahrt

Der Takt wird folgendermassen variiert:

- IC von 30- bis 7,5-Min.-Takt
- Übrige Linien von 30- bis 7,5-Min.-Takt (Knotentakt)

Bezüglich Umsteigeranteil ist folgende Variation unterstellt:

- Umsteigeranteil von IC nach allen anderen Produkten von 0 bis 100%
- Fixierte Umsteige-Verhältnisse zwischen den übrigen Linien (Hoch-/ Herunterskalierung auf die konkreten Umsteigeanteile einer Linie).

Für alle Analysen gelten grundsätzlich die folgenden Grundannahmen:

- Minimale Zugfolgezeit auf gleicher Strecke: 2 Min. (zumindest in Fällen 30- und 15-Min.-Takt)
- Minimale Haltezeit IC / IR: 3 Min.
- Minimale Wendezeit RE / S: 6 Min.
- Minimale Umsteigezeit: 3 Min. resp. 5 Min. (je nach Szenario)
- Keine Infrastrukturlimitierung (Anzahl Perrongleise) im Knoten
- Eingegebene Passagierzahlen enthalten nur Durchfahrer und Umsteiger (→ Quell-/Ziel-Fahrgäste haben keinen Einfluss auf Endergebnis)

- Reisende wählen immer die für sie optimale Verbindung mit minimalen Umsteigezeiten (Bsp.: Bei einem Umstieg von Linie A (15-Min.-Takt) auf Linie B (30-Min.-Takt) entsteht entweder eine Umsteigezeit von 6 Min. oder von 21 Min. → Alle Fahrgäste, die von A auf B umsteigen, wählen diejenige Taktlage von Linie A, sodass nur 6 Min. Umsteigezeit entstehen.)

Für eine Sensitivität mit weniger unabhängigen Zufahrten gegenüber dem Modellknoten I wurde zusätzlich ein Modellknoten II definiert:

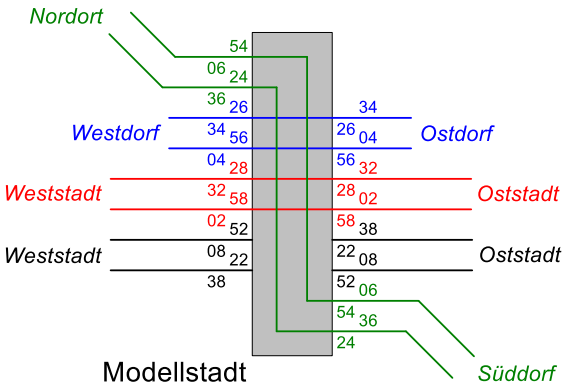


Abb.21 *Modellknoten II*

Im Modellknoten II sind folgende 5 Linien enthalten:

- IC auf Hauptstrecke West-Ost
- IR West-Ost auf identischer Ein-/Ausfahrt (2 Min. Zugfolge notwendig)
- RE Nord-Süd auf identischer Ein-/Ausfahrt (2 Min. Zugfolge notwendig)
- S West mit Wende in Modellstadt auf Ein-/Ausfahrt wie IC, IR und RE (2 Min. Zugfolge notwendig)
- S Ost mit Wende in Modellstadt auf Ein-/Ausfahrt wie IC, IR und RE (2 Min. Zugfolge notwendig)

Taktvariation und Variation des Umsteigeranteils sowie Grundannahmen sind analog denjenigen im Modellknoten I.

Schliesslich hat die Forschungsstelle für eine weitere Sensitivität mit durchgebundenen S-Bahn-Linien auf unabhängiger Infrastruktur einen Modellknoten III untersucht:

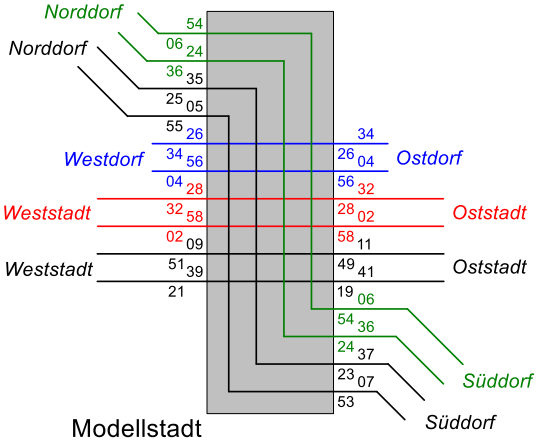


Abb.22 *Modellknoten III*

Der Modellknoten III beinhaltet als Durchgangsbahnhof 3 FV- und 2 S-Bahn-Linien:

- IC auf Hauptstrecke West-Ost
- IR West-Ost auf identischer Ein-/Ausfahrt (2 Min. Zugfolge notwendig)
- RE Nord-Süd auf identischer Ein-/Ausfahrt (2 Min. Zugfolge notwendig)
- S West-Ost auf eigenen S-Bahn-Gleisen (min. Haltezeit 2 Min.)
- S Nord-Süd auf eigenen S-Bahn-Gleisen (min. Haltezeit 2 Min. und 2 Min. Zugfolge mit S West-Ost notwendig)

Auch hier sind Taktvariation und Variation des Umsteigeranteils sowie Grundannahmen analog denjenigen im Modellknoten I.

4.2.2 Untersuchte Knotentypen

Wie es in Abb.19 aufgeführt ist, hat die Forschungsstelle die Knotentypen Vollknoten, Fliessband, Korrespondenz und aufgelöster Knoten untersucht.

Damit ergeben sich im Modellknoten I folgende Anschlussspinnen bei einem konsequenten Halbstundentakt für alle Linien:

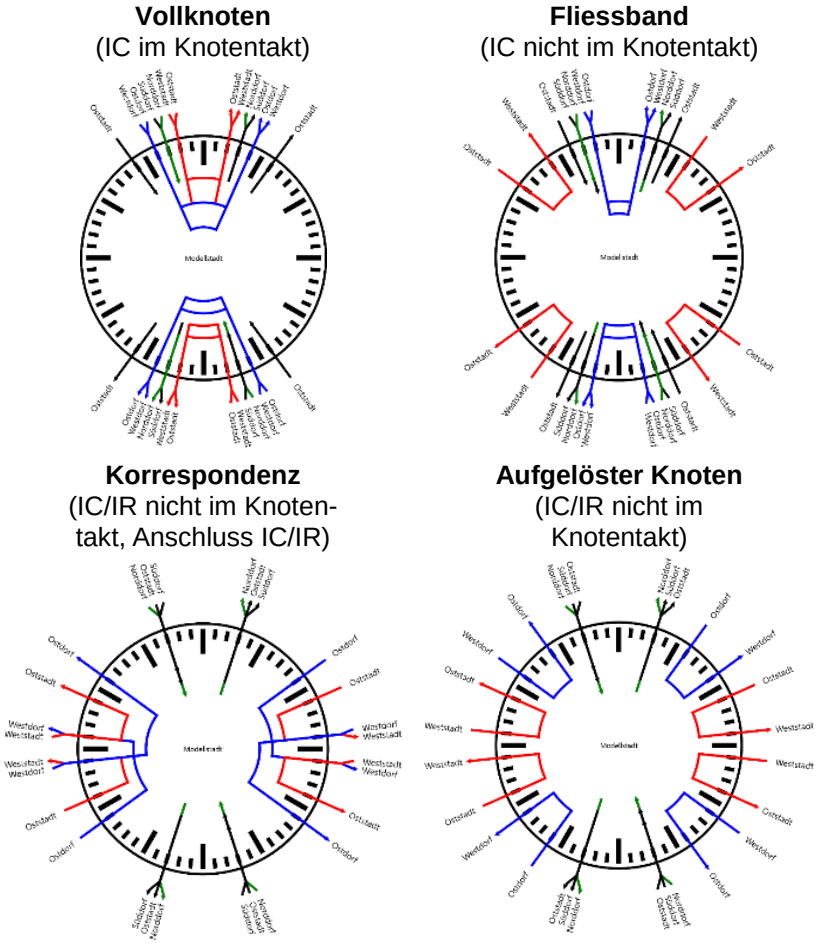
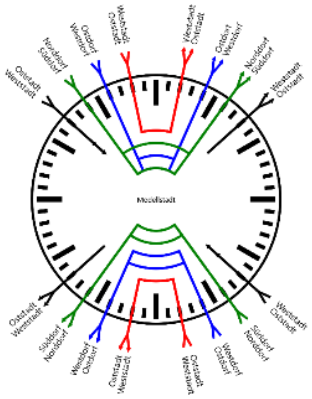


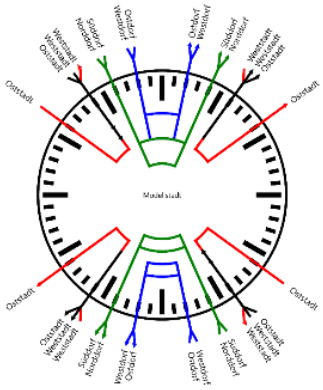
Abb.23 *Anschlussspinnen Modellknoten I für Szenarien 30' / 30'*

Im Modellknoten II sehen die Anschlussspinnen für einen 30-Minuten-Takt aller Linien folgendermassen aus:

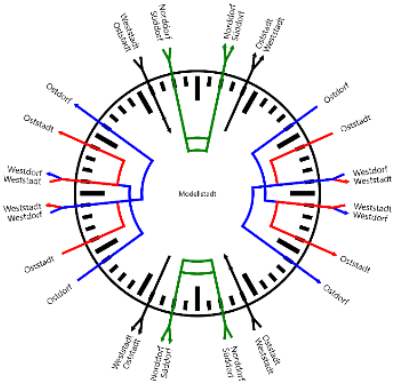
Vollknoten
(IC im Knotentakt)



Fliessband
(IC nicht im Knotentakt)



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



Aufgelöster Knoten
(IC/IR nicht im Knotentakt)

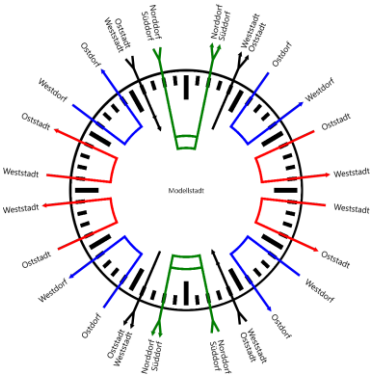


Abb.24 *Anschlussspinnen Modellknoten II für Szenarien 30' / 30'*

Und im Modellknoten III schliesslich präsentiert sich folgendes Bild:

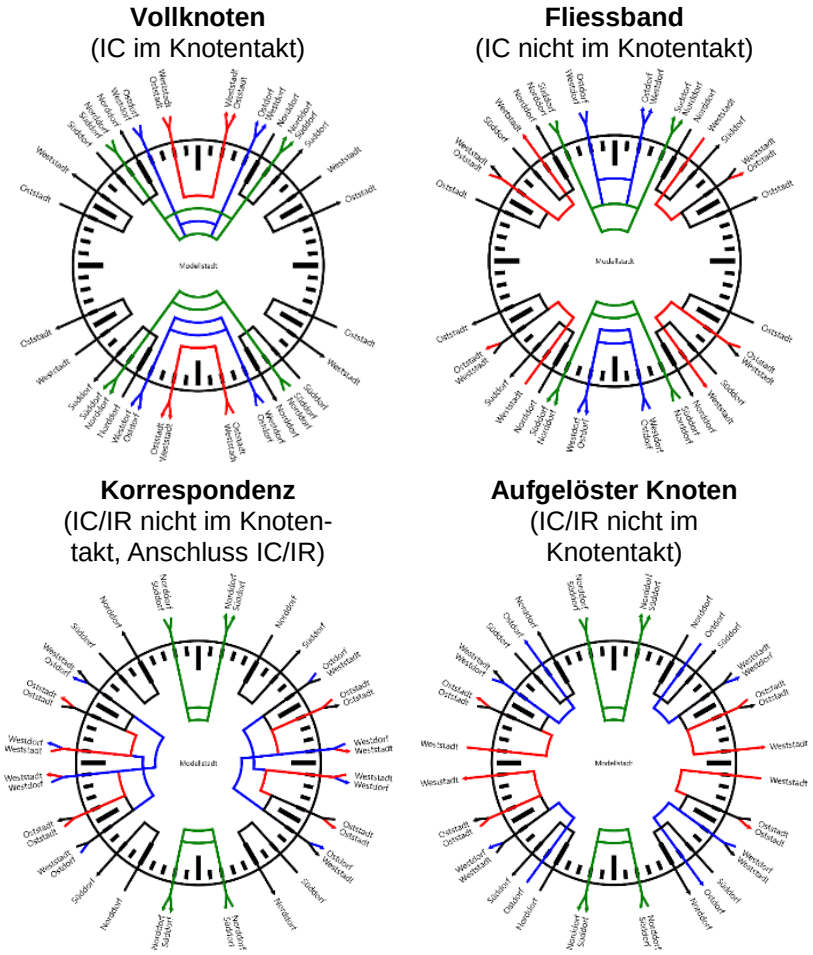


Abb.25 *Anschlussspinnen Modellknoten III für Szenarien 30' / 30'*

4.2.3 Ansätze Knotenstrukturen

Bezüglich Knotenstrukturen hat die Forschungsstelle zwischen «streckenfixiert» (Darstellung links) und «knotenoptimiert» (Darstellung rechts) unterschieden:

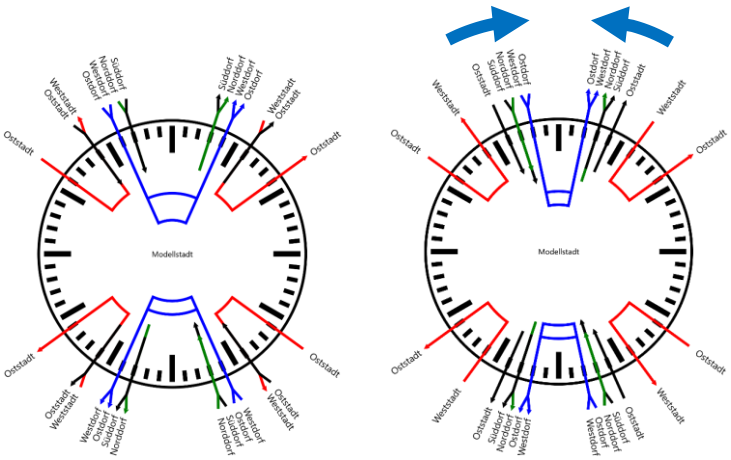


Abb.26 *Knotenstrukturen «streckenfixiert» links bzw. «knotenoptimiert»*

«Streckenfixiert» bedeutet, IR und S auf identischen Ein-/Ausfahrten wie der IC sind durch ihre Aussenäste fixiert (z.B. aufgrund von Einspurabschnitten) und können nicht «nachrücken», wenn der IC Ein-/Ausfahr-Slots im Vollknoten freigibt.

«Knotenoptimiert» hingegen heisst, IR und S auf identischen Ein-/Ausfahrten wie der IC sind flexibel auf ihren Aussenästen und können fahrplan- resp. knotenoptimiert «nachrücken», wenn der IC Ein-/Ausfahr-Slots im Vollknoten freigibt.

4.2.4 Ausgewertete Indikatoren

Für alle Berechnungsfälle resp. Szenarien sind folgende Werte ermittelt worden:

- Absolutwerte Passagiere (Fahrgäste) Durchfahrer und Umsteiger [PAX]
- Absoluter summierter Zeitverlust aller Durchfahrer und Umsteiger [PAX-Min.]
- Durchschnittliche Standzeit eines Durchfahrers [Min./PAX]
- Durchschnittliche Umsteigezeit eines Umsteigers [Min./PAX]

Daraus lässt sich eine durchschnittliche gemittelte Verlustzeit eines Fahrgastes [Min./PAX] ableiten, was in der folgenden Abbildung exemplarisch dargestellt ist:

Beispiel: Vollknoten / IC 15‘-Takt, Rest 30‘-Takt / Umsteigeranteil IC 20%:

Durchfahrer		Umsteiger	
[PAX]	[PAX-min]	[PAX]	[PAX-min]
1428	7392	1232	8263

Durch. Standzeit eines Durchfahrers:		Durch. Umsteigezeit eines Umsteigers:	
[Min./PAX]	5.18	[Min./PAX]	8.72
Durch. gemittelte Verlustzeit eines Fahrgastes:			
[Min./PAX]	6.82		

Abb.27 *Beispiel Resultatdarstellung Verlustzeit Fahrgast*

Mit diesen Werten lässt sich die durchschnittliche Verlustzeit eines Fahrgastes [Min./PAX] bei variierendem Umsteigeranteil des IC für die vier verschiedenen Knotentypen grafisch darstellen:

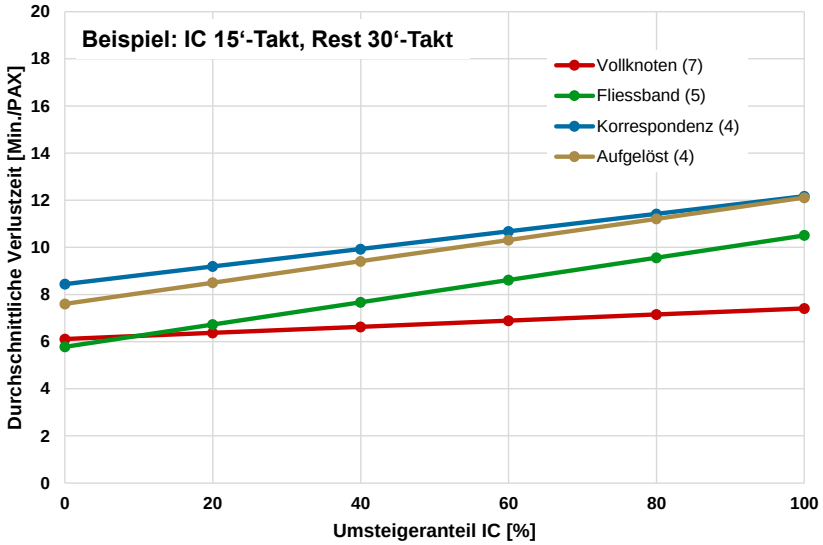
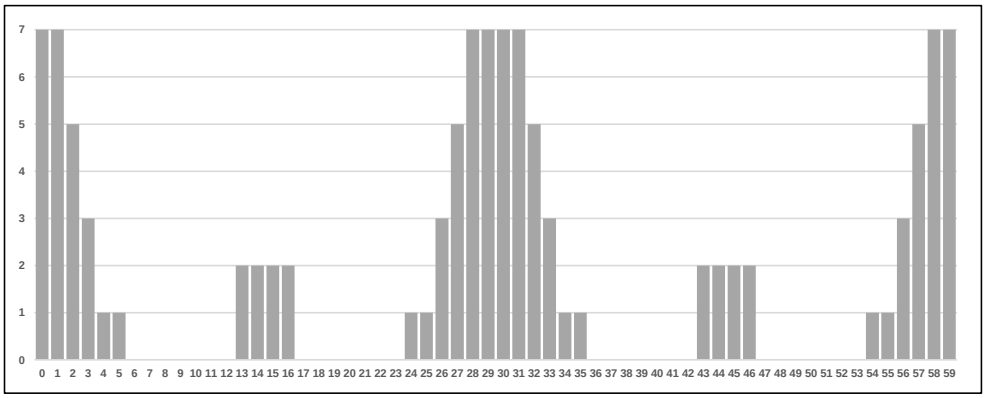


Abb.28 *Beispiel grafische Darstellung Verlustzeit bei variierendem Umsteigeranteil IC*

Als weiterer Indikator waren die Anzahl notwendiger Perrongleise auszuwerten:

Beispiel: Vollknoten, IC 15‘-Takt, Rest 30‘-Takt ➔ **7 Gleise notwendig**



Beispiel: Fliessband, IC 15‘-Takt, Rest 30‘-Takt ➔ **5 Gleise notwendig**

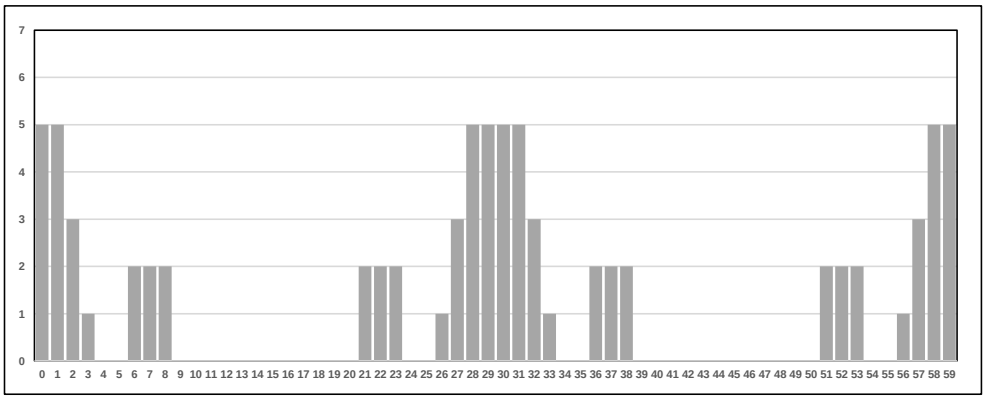


Abb.29 *Beispiel grafische Darstellung Anzahl notwendiger Perrongleise*

In der oben ersichtlichen Abbildung ist die Anzahl notwendiger Perrongleise für jede Minute einer Musterstunde dargestellt, wobei keine Vor- und Nachbelegung unterstellt wurde.

Bei den Berechnungen sind globale Faktoren für eine Nachfragesteigerung bei Takt-verdichtung sowie die Gewichtung von Umsteige-Minuten berücksichtigt [26]:

- Nachfragesteigerung (Nachfrage-Elastizität Angebotsdichte) = 1.32
- Gewichtung der Minuten Umsteiger ggü. Minuten Durchfahrer Nachfrage-Elastizität Umsteigen) = 1.14

4.3 Auswertungen

4.3.1 Berechnungsfälle / Variantenfächer

Die Forschungsstelle hat eine Vielzahl von Berechnungsfällen ausgeführt resp. einen breiten Variantenfächer an Szenarien entwickelt.

Variiert sind folgende vier Stellschrauben:

- Ansatz Knotenstruktur «knotenoptimiert» oder «streckenfixiert»
- Globaler Faktor Nachfragesteigerung = 1.0 oder = 1.32
- Gewichtung der Umsteige-Minuten = 1.0 oder = 1.14
- Minimale Umsteigezeit = 3 Min. oder = 5 Min.

Dies führt zum folgenden Fächer an Szenarien:

- knotenoptimiert / 1.0 / 1.0 / 3
- knotenoptimiert / 1.32 / 1.0 / 3
- knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3
- knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 5
- streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 3
- streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 5
- streckenfixiert / 1.32 / 1.0 / 3
- streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 3
- streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 5

Für jedes Szenario ergibt sich dann eine Serie von grafischen Auswertungen (siehe detaillierte Ergebnisse im Anhang II), welche folgendermassen zu lesen sind:

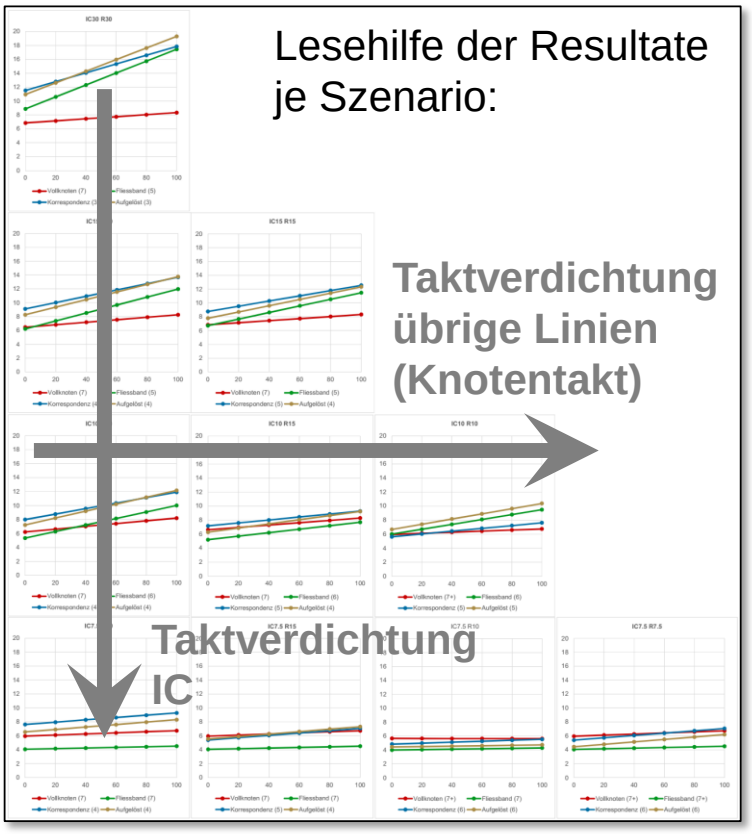


Abb.30 *Lesehilfe Resultate*

4.3.2 Allgemeine Erkenntnisse

Aus den Resultaten lassen sich die nachfolgend beschriebenen allgemeinen Erkenntnisse ableiten. Die Schlussfolgerungen sind dann im Kapitel 4.4 beschrieben.

Bei wachsendem IC-Umsteigeranteil wächst zumeist auch die durchschnittliche Verlustzeit pro PAX im Knoten:

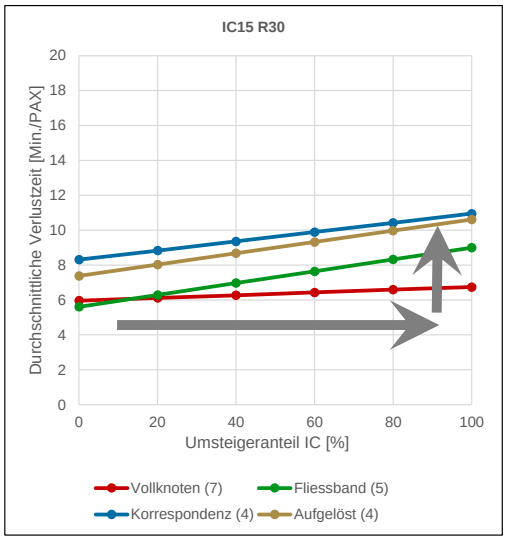


Abb.31 *Wachsen Verlustzeit pro PAX bei wachsendem IC-Umsteigeranteil*

Dabei bleibt der Vollknoten verhältnismässig konstant. Alle anderen Knotenformen steigen etwa linear mit verschiedenen Steigungen an, wobei Schnittpunkte zwischen den Graphen möglich sind. Je nach Takt von IC oder R (Rest) wechselt der Knotentyp mit der geringsten Verlustzeit im Knoten.

Je dichter der Takt wird, desto enger liegen die Graphen aneinander:

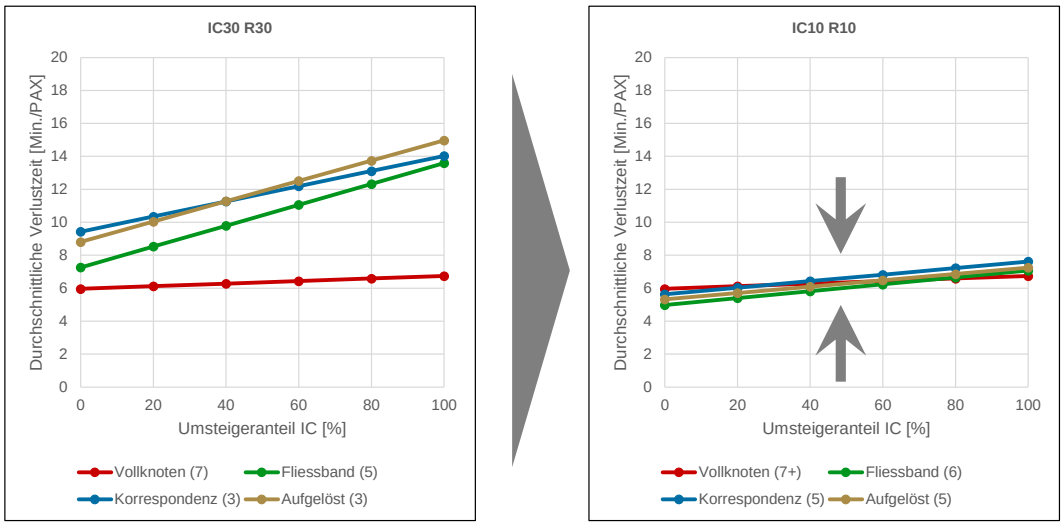


Abb.32 *Zusammenrücken der Graphen bei Taktverdichtung*

Wie die Darstellung rechts zeigt, gibt es bei einem sehr engen Takt praktisch keinen Unterschied mehr zwischen den Knotentypen.

Im Bereich von 10-Min.- und 7.5-Min.-Takten (Frequenz städtischer Verkehrsmittel) schneidet der aufgelöste Knoten, bei kleinem Abstand, am besten ab:

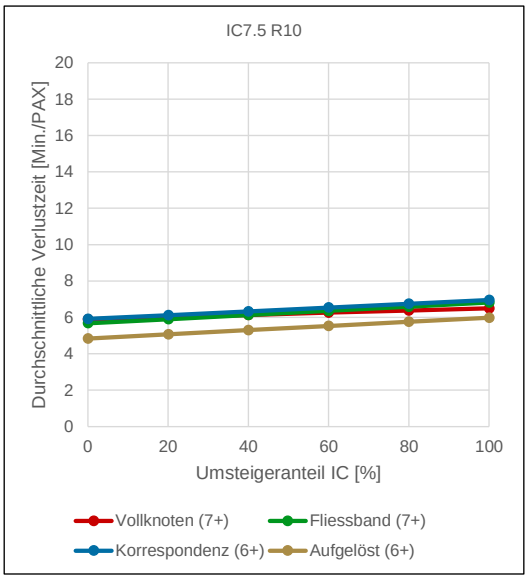


Abb.33 *Graphen bei Takten im Bereich von 10-Min. und 7.5-Min.*

Damit lassen sich die kürzesten Haltezeiten umsetzen, wobei Anschlüsse praktisch immer vorhanden sind.

Bei Annahme einer Nachfragesteigerung und bei einer Pönalisierung von Umsteigeminuten entstehen leicht höhere Verlustzeiten:

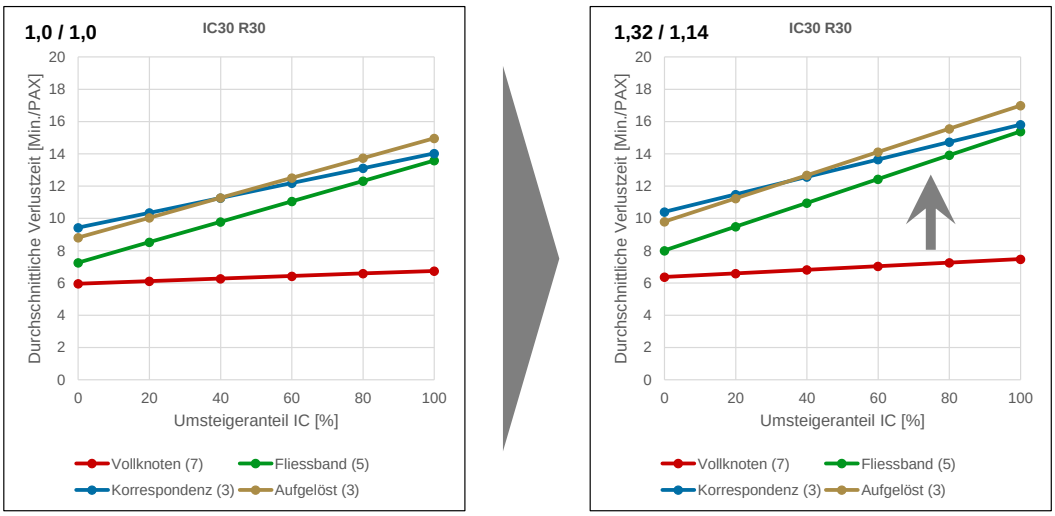


Abb.34 *Graphen bei Annahme Nachfragesteigerung / Pönalisierung Umsteigeminuten*

Es findet eine leichte Skalierung zu höheren Verlustzeiten statt, ohne dass die Reihenfolge der Knotentypen beeinflusst wird.

4.3.3 Erkenntnisse bei «streckenfixierter» Knotenstruktur

Der ungewichtete Vollknoten ist weiterhin die Knotenform mit der geringsten durchschnittlichen Verlustzeit im Knoten pro PAX:

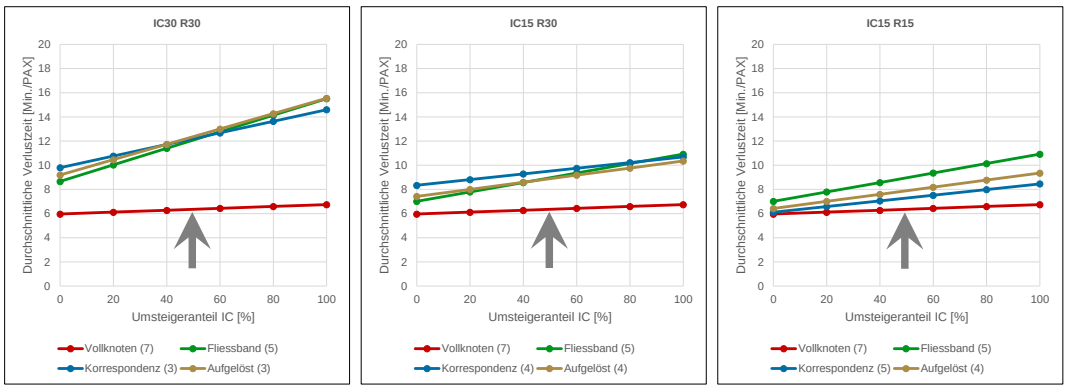


Abb.35 *Geringste Verlustzeiten für Vollknoten bei Takten ≥ 15 Min.*

Dies gilt für sämtliche IC-Umsteigeanteile bei allen Takten grösser oder gleich 15 Minuten.

Auch bei Anwendung einer Nachfragesteigerung und einer Gewichtung von Umsteigeminuten behält der Vollknoten weiterhin die geringsten Werte:

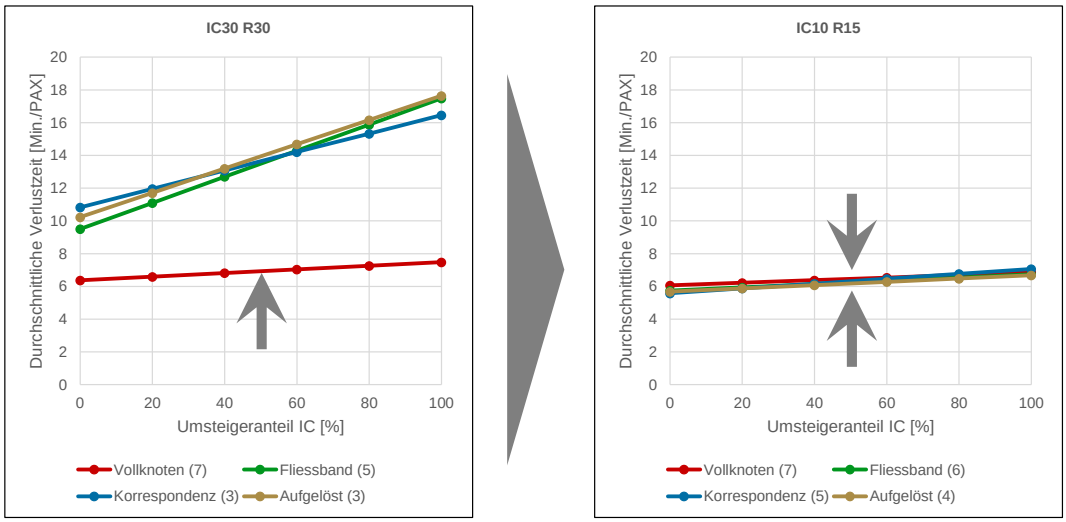


Abb.36 *Geringste Verlustzeiten Vollknoten bei Anwendung der globalen Faktoren*

Erst ab einem Takt IC ≤ 10 Min. / R ≤ 15 Min. erreichen andere Knotentypen ähnliche tiefe Verlustzeiten.

Ab einem Takt IC ≤ 7.5 Min. weisen das Fliessband oder der aufgelöste Knoten die geringsten Verlustzeiten im Knoten pro PAX auf:

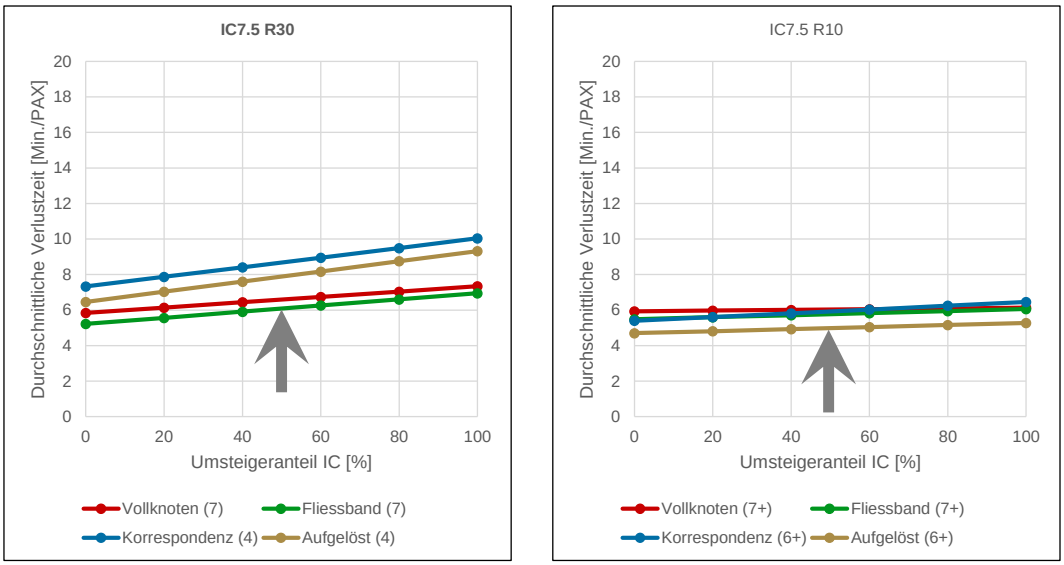


Abb.37 *Geringste Verlustzeiten Fliessband / aufgelöster Knoten bei Takt IC ≤ 7.5 Min.*

Bei IC = 15 Min. / R = 15 Min. sind die Werte für den Vollknoten bei sämtlichen Umsteigeranteilen besser als diejenige des Fliessbands:

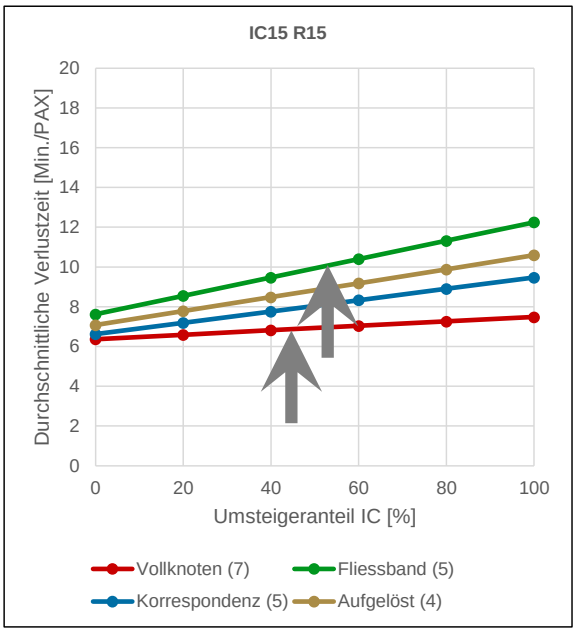


Abb.38 *Geringste Verlustzeiten Vollknoten bei IC = 15 Min. / R = 15 Min.*

4.3.4 Erkenntnisse bei «knotenoptimierter» Knotenstruktur

Da beim Fliessband im knotenoptimierten Fall die ICs im Knoten entfallen, können die Haltezeiten der übrigen Züge gekürzt werden, was zu geringeren Verlustzeiten führt:

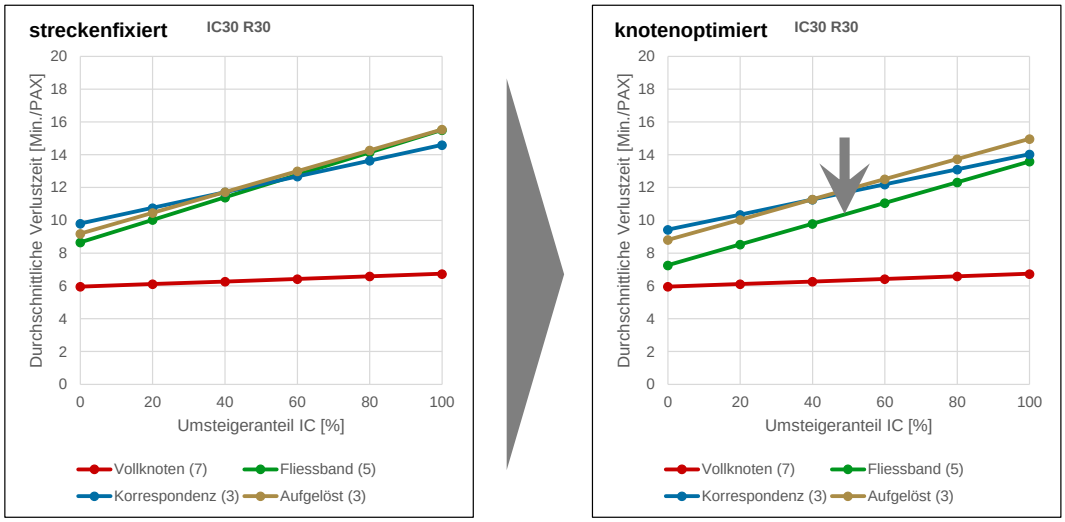


Abb.39 *Geringere Verlustzeiten für Fliessband bei «knotenoptimierter» Struktur*

Bei allen dichteren Takten ab IC ≤ 15 Min. / R ≤ 30 Min. stellt das Fliessband bei geringen IC-Umsteigeranteilen den vorteilhaftesten Knotentyp dar:

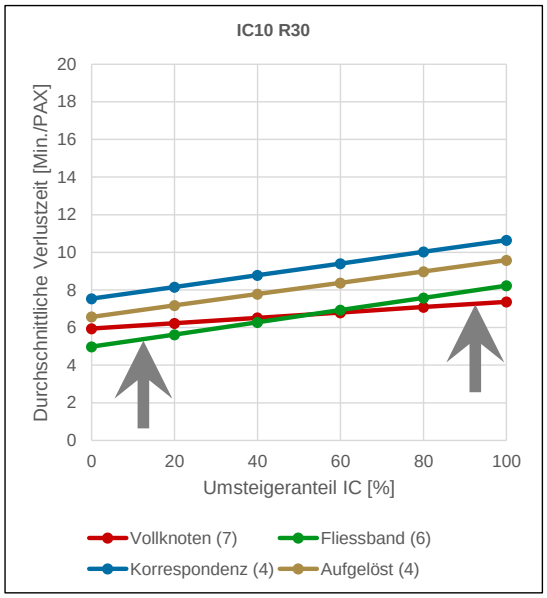


Abb.40 *Graphen bei dichten Takten ab IC ≤ 15 Min. / R ≤ 30 Min.*

Bei höheren Umsteigeranteilen erzielt immer noch der Vollknoten die besten Werte.

Ab einem Takt IC ≤ 7.5 Min. / R ≤ 15 Min. sind alle Knotentypen vorteilhafter als der Vollknoten:

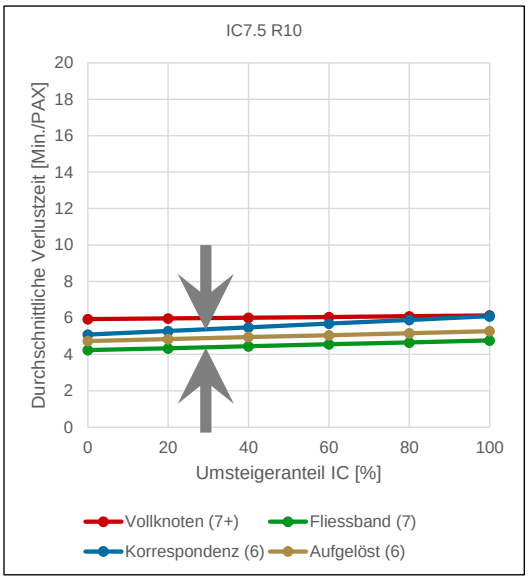


Abb.41 *Geringere Verlustzeit aller Knotentypen ab einem Takt IC ≤ 7.5 Min. / R ≤ 15 Min.*

Die beobachtbaren Differenzen sind jedoch klein.

Bei IC = 15 Min. / R = 15 Min. sind die Werte für das Fliessband bei geringsten Umsteigeranteilen besser als diejenige des Vollknotens resp. der übrigen Knotentypen:

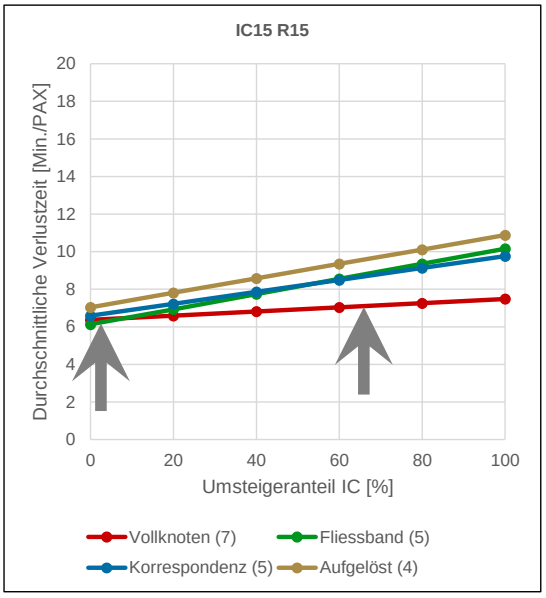


Abb.42 *Graphen für IC = 15 Min. / R = 15 Min.*

Bei mittleren bis hohen Umsteigeanteilen sind die Verluste beim Vollknoten jedoch weiterhin am geringsten.

4.3.5 Erkenntnisse bezüglich Anzahl Gleise, Standzeiten und GV-Trassen

Für den Vollknoten sind immer mindestens sieben Perrongleise notwendig.

Bei Takten IC ≥ 15 Min. / R ≥ 15 Min. benötigen die übrigen Knotentypen nie mehr als fünf Gleise. Die grösste Differenz ergibt sich im Fall IC = 30 Min. / R = 30 Min., wo die Knotentypen Korrespondenz und aufgelöst mit drei Perrongleisen nicht einmal die Hälfte des Wertes des Vollknotens erreichen.

Tendenziell schneidet der aufgelöste Knoten jeweils am besten ab, da sich hier die kürzesten Haltezeiten realisieren lassen und die Züge am regelmässigsten verteilt sind.

In der Analyse der Modellknoten wurden weitere betriebliche Resultate berechnet:

- Anzahl Züge [Züge/h]
- Standzeiten von durchfahrenden Zügen [Zug-Min./h] bzw. [Min./Zug]
- Standzeiten wendender Züge (Kurzwende) [Zug-Min./h] bzw. [Min./Zug]

Damit liessen sich die Standzeiten aller Züge in [Zug-Min./h] bzw. [Min./Zug] ermitteln.

Die Erkenntnisse hieraus sind, dass sich bei allen Szenarien eine identische Reihenfolge der Werte der Knotentypen ergibt, indem der Vollknoten jeweils am schlechtesten abschneidet. Es folgen Korrespondenz und Fliessband, während der aufgelöste Knoten jeweils die besten Werte erzielt.

Währenddem die Werte für Fliessband, Korrespondenz und aufgelöster Knoten relativ nahe zusammenliegen, erzielt der Vollknoten deutlich schlechtere Werte (ca. +40% gegenüber dem Mittel der 3 übrigen Typen).

Am Beispiel des Szenarios IC = 15 Min. / R = 30 Min. hat die Forschungsstelle das Potenzial zur Durchführung von Güterzug-Trassen abgeschätzt:

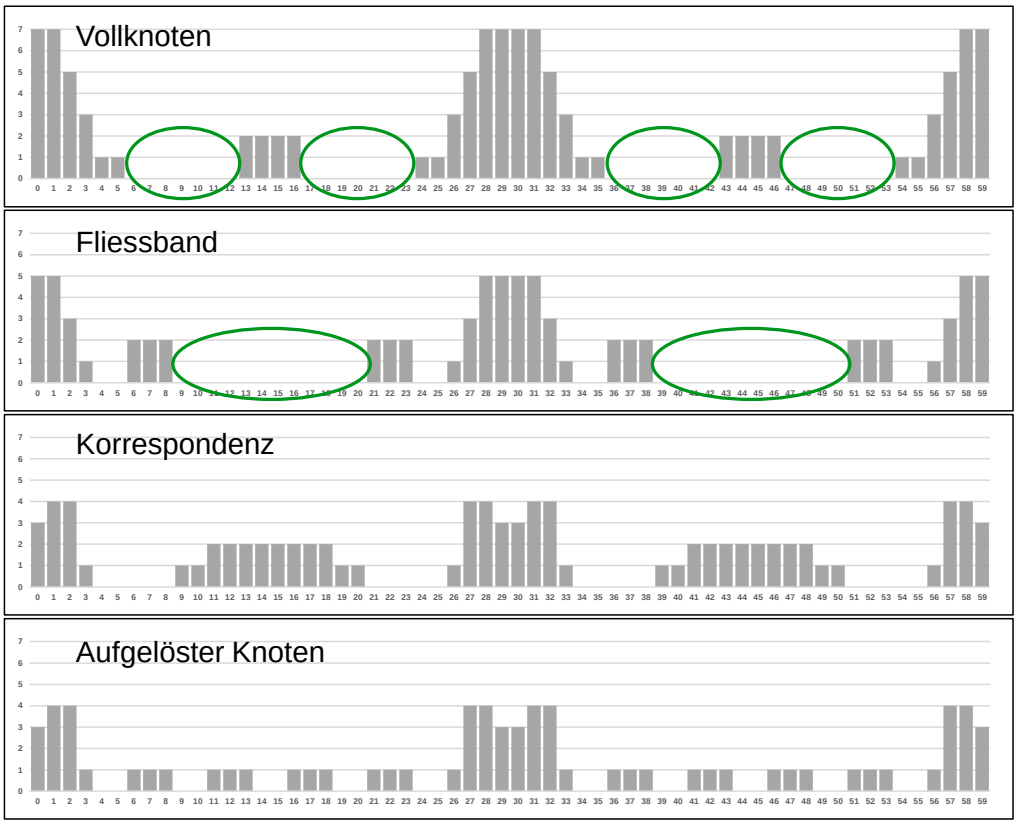


Abb.43 *Graphen für Abschätzung Durchführbarkeit von GV-Trassen*

Vollknoten und Fliessband benötigen zwar die höchste Anzahl an Perrongleisen, ermöglichen dabei jedoch wohl eine einfachere Durchführung von Güterzug-Trassen, da komplett freie Zeitfenster resultieren.

Bei Korrespondenz und aufgelöstem Knoten dürfte die Durchführung von Güterzug-Trassen aufgrund einer regelmässigeren Belastung der Gleise resp. v.a. der Ein- und Ausfahrten schwieriger sein. Allerdings ist es hier denkbar, spezielle Güterzug-Überholgleise vorzusehen, ohne die Anzahl totaler Gleise des Vollknotens zu übertreffen.

4.3.6 Vergleich Modellknoten I mit Modellknoten II

Im Folgenden sind die Resultate der Szenarien Modellknoten I knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3 mit Modell II (knotenoptimiert) / 1.32 / 1.14 / 3 verglichen resp. analysiert:

Bereits im Grundfall IC = 30 Min. / R = 30 Min. nähern sich beim Modell II die Kurven des Vollknotens und diejenigen der übrigen Knotentypen stärker an (Werte Vollknoten werden höher, Werte der übrigen Typen werden tiefer):

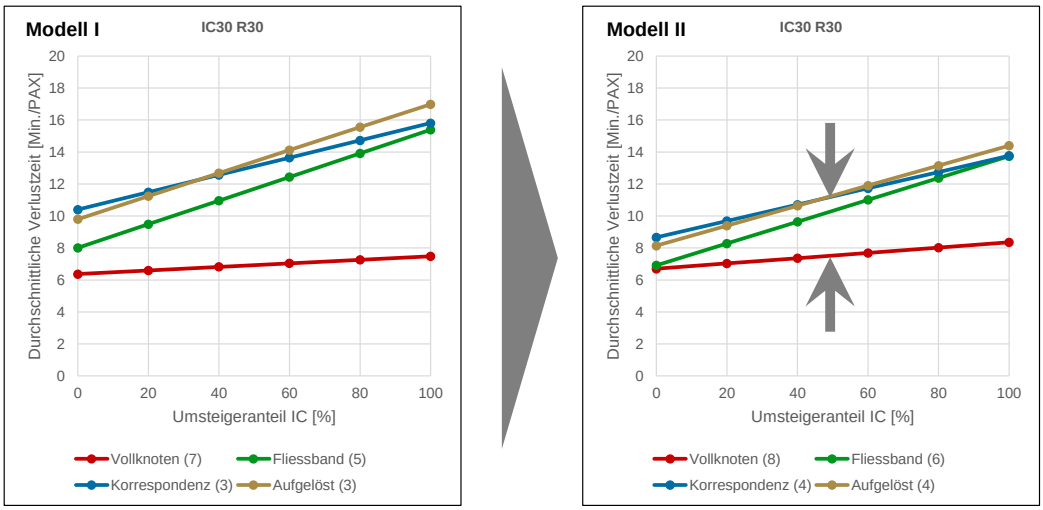


Abb.44 *Darstellungen Vergleich Grundfall Modelknoten I und II*

Aufgrund der identischen Ein-/Ausfahrten im Modell II ist der Vollknoten stärker gespreizt. Mit Herausnahme des IC aus dem Knotentakt lassen sich bei den übrigen Knotentypen grössere Optimierungen vornehmen («nachrücken»).

Im Fall IC = 15 Min. / R = 30 Min. erzielt das Fliessband beim Modell II bis ca. 30% IC-Umsteigeranteil die besten Werte, währenddem dies beim Modell I nur bei geringstem IC-Umsteigeranteil von wenigen % der Fall war:

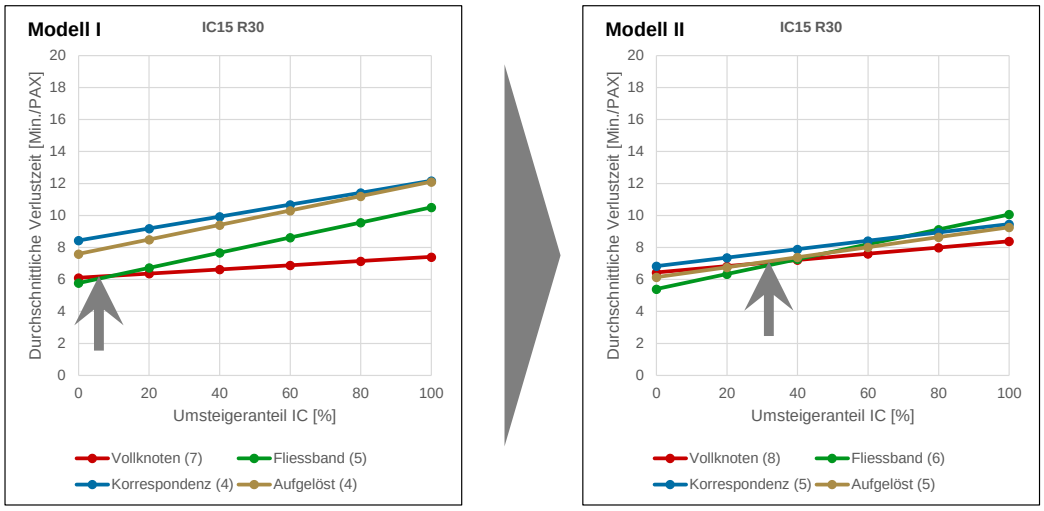


Abb.45 *Darstellungen Vergleich Fliessband bei IC = 15 Min. / R = 30 Min.*

Im Fall IC = 15 Min. / R = 15 Min. erzielen die Korrespondenz und der aufgelöste Knoten im Modell II bei allen IC-Umsteigeranteilen die besten Werte. Das Fliessband zeigt hier beim Modell II bis ca. 40% IC-Umsteigeranteil bessere Werte als der Vollknoten, währenddem dies beim Modell I nur bei geringstem IC-Umsteigeranteil von wenigen % der Fall war:

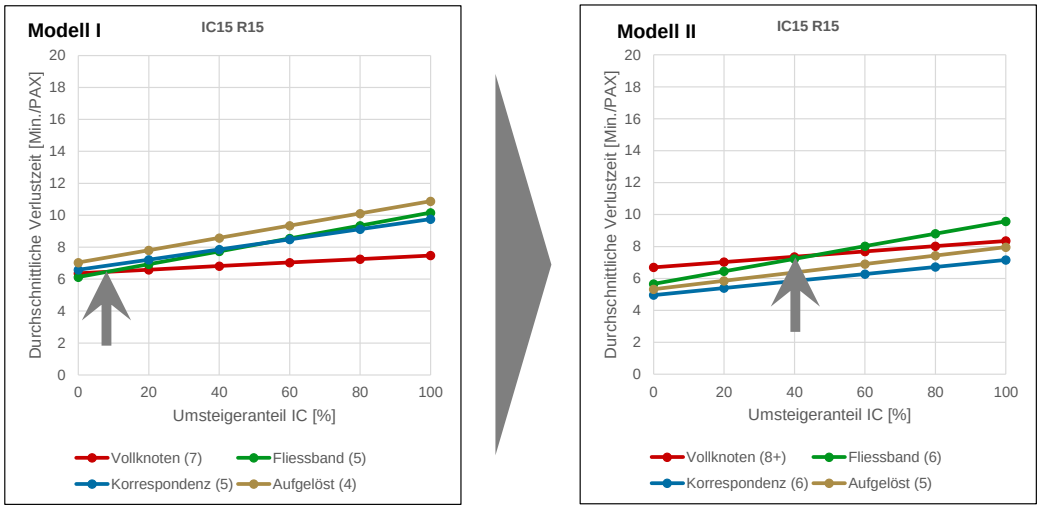


Abb.46 *Darstellungen Vergleich Fliessband bei IC = 15 Min. / R = 15 Min.*

In den Fällen IC ≤ 10 Min. / R ≤ 15 Min. erzielt der Vollknoten beim Modell II durchwegs deutlich schlechtere Werte als die übrigen Knotentypen, wohingegen die Werte der Knotentypen beim Modell I – mit Ausnahme des Vollknotens – stärker zusammenliegen:

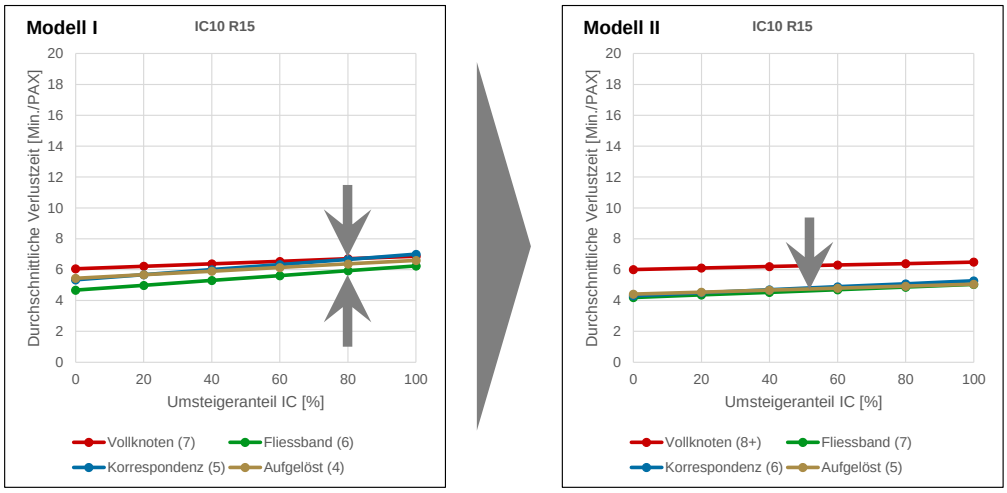


Abb.47 *Darstellungen Vergleich Vollknoten bei IC = 10 Min. / R = 15 Min.*

In den Fällen IC = 10 Min. / R = 30 Min. sowie IC = 7.5 Min. / R = 30 Min. erzielt das Fliessband beim Modell II bei allen IC-Umsteigeranteilen die besten Werte, währenddem dies beim Modell I nur bei 7.5 Min. / 10 Min. der Fall ist:

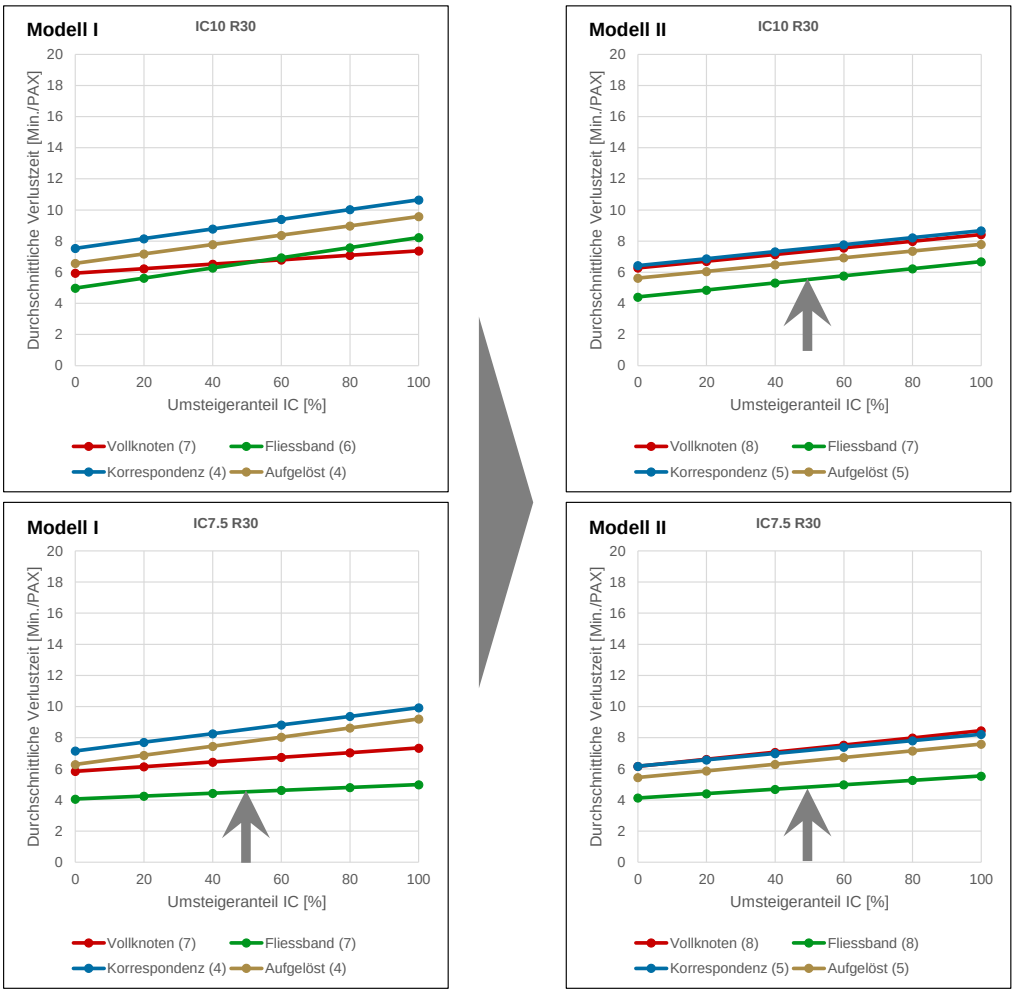


Abb.48 *Darstellungen Vergleich Fliessband bei IC = 10 Min. resp. 7.5 Min.*

Bezüglich Anzahl Gleisen wird im Grundfall beim Modell II jeweils ein Gleis mehr benötigt als beim Modell I, da der RE im Knotentakt durchgebunden ist (Züge in Richtung und Gegenrichtung stehen gleichzeitig in Modellstadt).

4.3.7 Vergleich Modellknoten I mit Modellknoten III

Im Folgenden sind die Resultate der Szenarien Modellknoten I knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3 mit Modell III (knotenoptimiert) / 1.32 / 1.14 / 5 verglichen resp. analysiert:

Im Grundfall IC = 30 Min. / R = 30 Min. entstehen im Modell III für den Vollknoten höhere Verlustzeiten-Werte als im Modellknoten I, da die S-Bahnen nicht in den Knoten eingebunden sind.

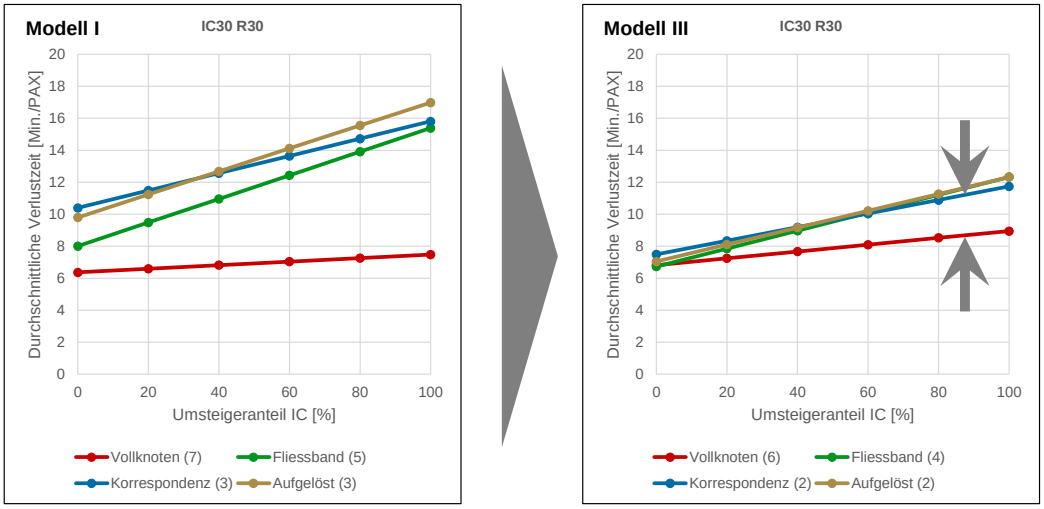


Abb.49 *Darstellungen Vergleich Grundfall Modellknoten I und III*

Grundsätzlich sinken bei den übrigen Knotentypen die Verlustzeiten dank Minimierung der Standzeiten deutlich.

In den Fällen IC = 15 Min. gibt es im Modell III kaum mehr Unterschiede zwischen den verschiedenen Knotentypen, währenddem im Modell I der Vollknoten praktisch für alle IC-Umsteigeranteile die deutlich besten Werte aufweist:

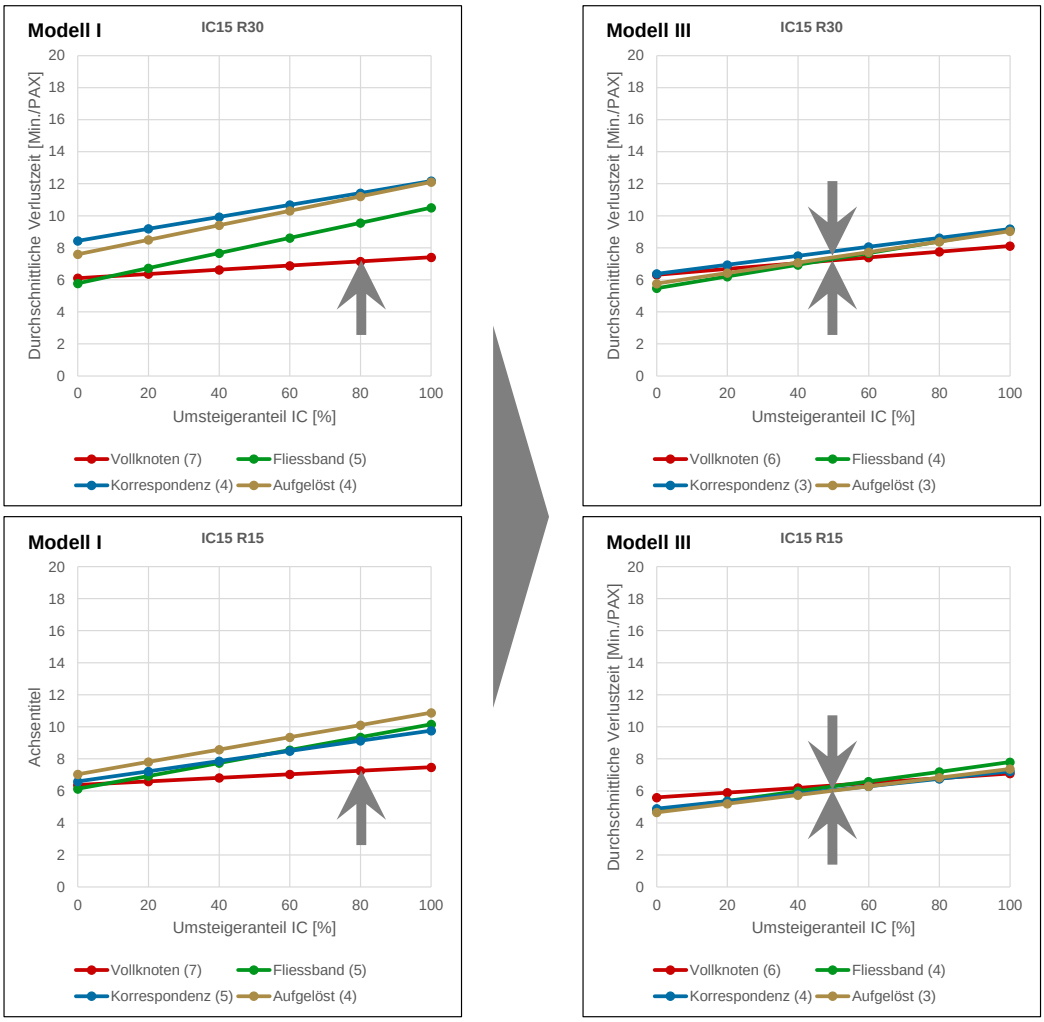


Abb.50 *Darstellungen Vergleich Fälle IC = 15 Min. Model I und Modell III*

4.4 Schlussfolgerungen

4.4.1 Grenzen des theoretischen Modells

Zur Einschätzung der Belastbarkeit der Resultate sind folgende Aspekte zu beachten:

- Die gewählten Zeitlagen der Züge können – zufälligerweise – günstige oder ungünstige Situationen für einen Knotentyp schaffen (v.a. bei den Typen Korrespondenz und aufgelöst).
- Die Umsteigeanteile der übrigen Züge zum IC sowie zwischen den verschiedenen Zügen sind fixiert (zur Vermeidung von zu vielen Stellschrauben / Variablen).
- Die maximale Anzahl Züge im Knoten beträgt 8 Linien in Hin- und Rückrichtung.
- Bei der Berechnung der erforderlichen Bahnhofsgleise ist zu beachten, dass bei einer Taktzeit < Halte-/Wendezeit im Bahnhof nur ein einzelnes Gleis hinterlegt ist, obwohl mehr als ein Gleis erforderlich wäre.

4.4.2 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Grundsätzlich lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass – bei Takten grösser oder gleich 15 Minuten – der Vollknoten die besten Werte erzielt. Je dichter jedoch der Takt ist, desto enger liegen die Resultate der verschiedenen Knotentypen zusammen. So sind im Bereich von Takten kleiner oder gleich 10 Minuten – d.h. der Frequenz von städtischen Verkehrsmitteln – kaum mehr Unterschiede feststellbar.

Bezüglich notwendiger Perrongleise benötigen Korrespondenz und aufgelöster Knoten die geringste Anzahl, wohingegen beim Vollknoten die höchsten Werte zu beobachten sind. Umgekehrt ergeben sich jedoch bei Vollknoten und Fliessband die grössten freien Trassenfenster für die Durchführbarkeit von Güterzug-Trassen.

Lässt sich mit Herausnahme des IC aus dem Knotentakt, die Spreizung des Knotens reduzieren (bei voneinander abhängigen Ein-/Ausfahrten), so ist das Fliessband resp. der aufgelöste Knoten – in den Fällen IC = 15 Min. / Rest = 30 oder 15 Min. bei geringen Umsteigeanteilen von 30 bis 40% eine prüfenswerte Option.

Sind unabhängige Ein-/Ausfahrten im Knoten vorhanden (und eine weitere Knotenoptimierung ist mit Herausnahme des IC nicht möglich), so ist das Fliessband erst ab IC-Takten von 10 oder 7.5 Min. zielführend.

Verkehrt die S-Bahn auf individueller Infrastruktur, so sind in den Fällen IC = 15 Min. / Rest = 30 oder 15 Min. kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Knotentypen vorhanden.

5 Szenarien

5.1 Übersicht Vorgehen

Die Erkenntnisse aus dem theoretischen Modellknoten sind in einem konkreten, möglichst realen Beispiel zu überprüfen. Dazu hat die Forschungsstelle ein repräsentatives Musternetz festgelegt (siehe Kapitel 5.2), um darin verschiedene Szenarien (siehe Kapitel 5.3) zu planen. Im ersten Schritt werden Konzepte für den Expressverkehr ermittelt und beurteilt. Anschliessend werden für die weitere Vertiefung geeignete Konzepte ausgewählt und auf dieser Basis dann auch der Regional- und Güterverkehr ausgeplant.

5.2 Musternetz

Das möglichst repräsentative Musternetz wird so gewählt, dass mindestens ein Grossknoten und mehrere regionale Knoten enthalten sind. Es sollen Strecken mit realistischer längerfristiger Taktverdichtung enthalten sein und dabei repräsentative Streckencharakteristiken aufweisen (z.B. auch Einspurstrecken).

Im engeren Betrachtungsraum sind die folgenden Knoten enthalten: Bern, Fribourg, Neuchâtel, Biel, Solothurn und Burgdorf.

Zu beschreibende Knoten im Randbereich, welche nicht geplant werden, sind: Lausanne, Visp, La Chaux-de-Fonds, Delémont, Olten, Luzern, Thun, Interlaken Ost und Visp

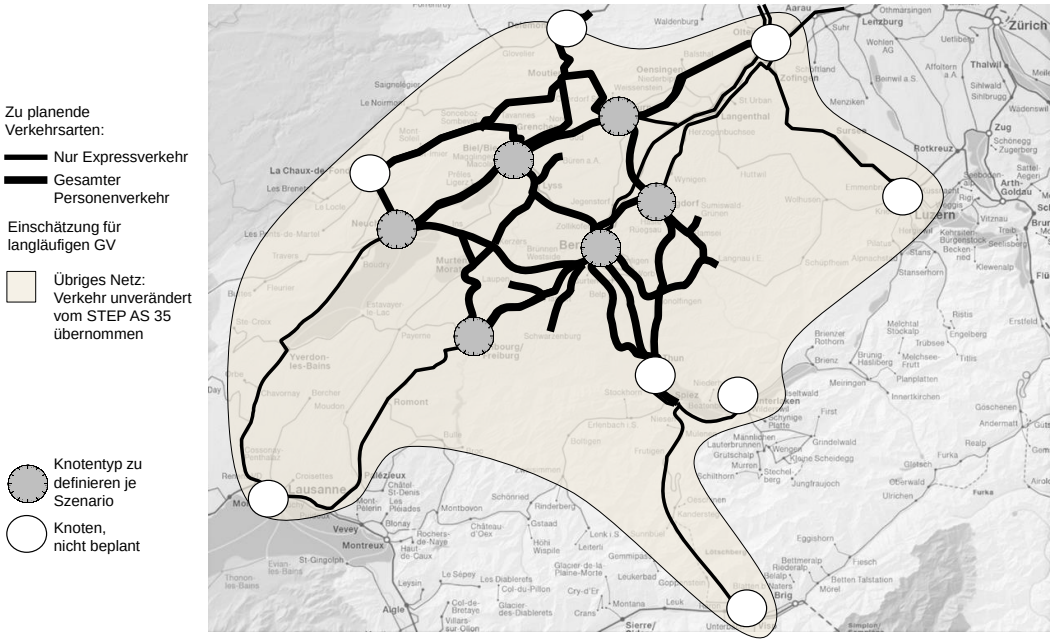


Abb.51 *Musternetz*

5.3 Szenariendefinition

5.3.1 Verkehrsarten

In den Szenarien verwendete Produktkategorien sind wie folgt benannt:

- Expressverkehr: schneller Verkehr mit Halten nur in den wichtigsten Knoten, entspricht der heutigen Produktkategorie IC/IR
- Beschleunigter Verkehr: Verkehr mit Halten nur in den grossen und mittleren Knoten, entspricht der heutigen Produktkategorie RE (ggf. beschleunigte S)

- Regionalverkehr: Verkehr mit Halt an allen Stationen, entspricht den heutigen Produktkategorien S und R

Die Unterscheidung hat keinen Bezug zur Fernverkehrskonzession oder abgeltungsberechtigtem Verkehr.

5.3.2 Szenarienbildung

Die Definition der Szenarien orientiert sich an den beiden Grundeigenschaften Knotenausgestaltung und Taktdichte. Die Definition der zu untersuchenden Szenarien setzt sich wie folgt zusammen:

- 3 verschiedene Knotentypen: Vollknoten, Fliessband, aufgelöst. Um eine möglichst hohe Aussagekraft der Ergebnisse zu generieren, werden möglichst unterschiedliche Knotentypen ausgewählt. Elemente eines Richtungsknotens resp. von Korrespondenzen sind im konkreten Anwendungsfall für den Knoten Bern bei Vollknoten oder aufgelösten Knoten enthalten und werden deshalb nicht separat betrachtet.
- 2 verschiedene Taktdichten: Regionalverkehr im 15-Minuten-Takt in Kombination mit 30-Minuten-Takten des übrigen Verkehrs sowie Regionalverkehr im 15-Minuten-Takt in Kombination mit 15-Minuten-Takten des übrigen Verkehrs. Der Expressverkehr wird im Bereich von künftig realistischen Taktdichten von 30- und 15-Minuten-Takten variiert. Da der Regionalverkehr im Kernbereich der S-Bahn Bern zu einem früheren Zeitpunkt zu 15-Minuten-Takten verdichtet wird als der Expressverkehr (z.T. bereits im AS 2035 der Fall) und zudem der Effekt einer Veränderung beim Expressverkehr isoliert ersichtlich sein soll, wird die Angebotsdichte beim Regionalverkehr bei allen Szenarien konstant bei 15-Minuten-Takten gewählt.

Dies ergibt 6 zu untersuchende Szenarien (siehe Abb.52):

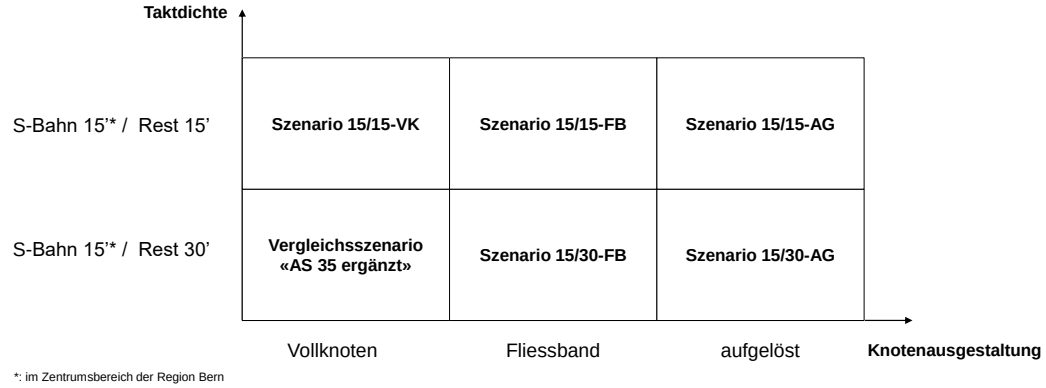


Abb.52 ***Szenarien-Bildung Knotensystem***

Für alle diese 6 Szenarien wurden «minutierte Angebotsziele» für den Expressverkehr im Musternetz erarbeitet. Nach Vorliegen der Zwischenergebnisse für alle Szenarien wurden in der Begleitgruppe 3 Szenarien für die Vertiefung ausgewählt. Auf Grund der Vergleichbarkeit zwischen den Knotentypen und des höheren erwartbaren Erkenntnisgewinns aus der Betrachtung von 15-Minuten-Takten wurden die Konzepte mit der Taktdichte «Regionalverkehr 15-Minuten-Takt / Rest 15-Minuten-Takt» vertieft.

5.4 Konzepte Expressverkehr

5.4.1 Konzeption

In diesem Schritt erfolgt die Konzeption des Angebots im Musternetz für Expressverkehr und beschleunigter Verkehr mit dem Fahrplantool Viriato für die definierten Szenarien. Die Fahrplanplanung erfolgt im Sinne von «minutierten Angebotszielen» und wird in Netzgrafiken dargestellt. Als Basis dient grundsätzlich die im AS 2035 unterstellte Infrastruktur für

Fahrzeiten und Kapazitäten. Auch die Planungsgrundlagen für Zugfolge-, Wendezeiten, Halte-, Umsteigezeiten und weitere werden vom AS 2035 übernommen.

Es wird darauf geachtet die Trassen so abzustimmen, dass der Infrastrukturbedarf möglichst minimiert werden kann, jedoch ohne die Fahrbarkeit und allfällige Infrastrukturmassnahmen bereits auszuweisen.

Mengengerüst und Strukturen der 6 Szenarien für den Expressverkehr werden folgendermassen festgelegt:

- Szenarien 15/30:
  - **Grundsatz 30-Minuten-Takt**, gegenüber dem AS 2035 weitgehend systematisiert, d.h. jeweils exakte Takte mit identischer Haltepolitik und Durchbindungen je Linie. Damit wird eine möglichst gute Vergleichbarkeit zwischen den Szenarien hergestellt.
  - 15-Minuten-Takte, falls bereits im AS 2035 bestehend
- Szenarien 15/15:
  - **Grundsatz 15-Minuten-Takte** auf Hauptachsen
  - 15-Minuten-Takte aus überlagerten 30-Minuten-Takten am Jurasüdfuss, im Aaretal, beschleunigter Verkehr via Plateau
  - 30-Minuten-Takte via ABS, Oensingen, Langnau i.E., St-Imier, Bern –Olten – Aarau – Zürich (systematisiert)

Im Folgenden werden die erstellten Szenarien für den Expressverkehr beschrieben. Zu allen diesen Szenarien sind Netzgrafiken Anhang III dokumentiert.

Szenario «AS35 ergänzt»

Dieses Szenario dient als Vergleichsszenario und entspricht weitgehend dem AS 2035. Einzige Änderungen im Expressnetz sind die Verdichtungen RE Biel – La Chaux-de-Fonds und Bern – Langnau – Luzern zum 30-Minuten-Takt. Dementsprechend gibt es bei dieser Variante kaum zusätzlichen Infrastrukturbedarf, ausser einzelnen Ergänzungen auf Strecken mit 30-Minuten-Takt. Es gibt keine Anpassungen an den Knotenstrukturen bei den nicht beplanten Knoten.

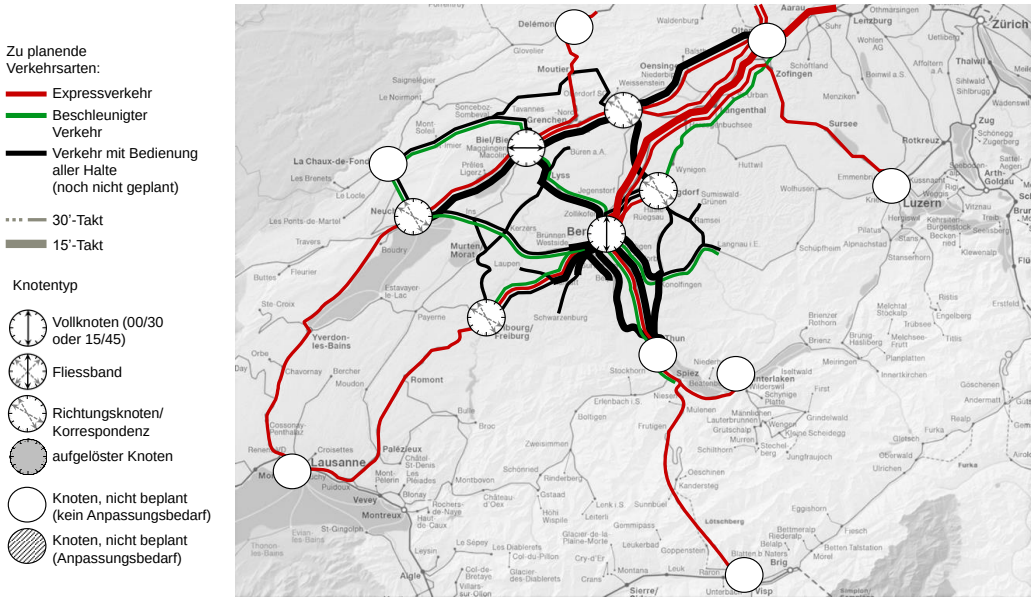


Abb.53 *Skizze mit Knotenstrukturen «AS35 ergänzt»*

Szenario 15/30-FB

Das Mengengerüst dieses Szenarios entspricht dem Vergleichsszenario «AS35 ergänzt». Die wesentliche Änderung in diesem Szenario gegenüber dem Vergleichsszenario «AS35 ergänzt» besteht darin, dass der Expresszug Zürich – Bern – Lausanne um 8 Minuten

gedreht ist. Ebenfalls entsprechend gedreht sind der zum 15-Minuten-Takt ergänzende Expresszug Zürich – Bern und der beschleunigte Verkehr Bern – Fribourg, um damit in Bern einen Knoten mit Fliessband-Prinzip herzustellen. Die Durchbindungen Basel – / Luzern – Aaretal sind systematisiert. Der Infrastrukturbedarf entspricht dem Vergleichsszenario «AS35 ergänzt». Für die Knoten von Lausanne und gegebenenfalls Olten besteht ein Anpassungsbedarf, während alle anderen nicht beplanten Knoten unverändert bleiben.

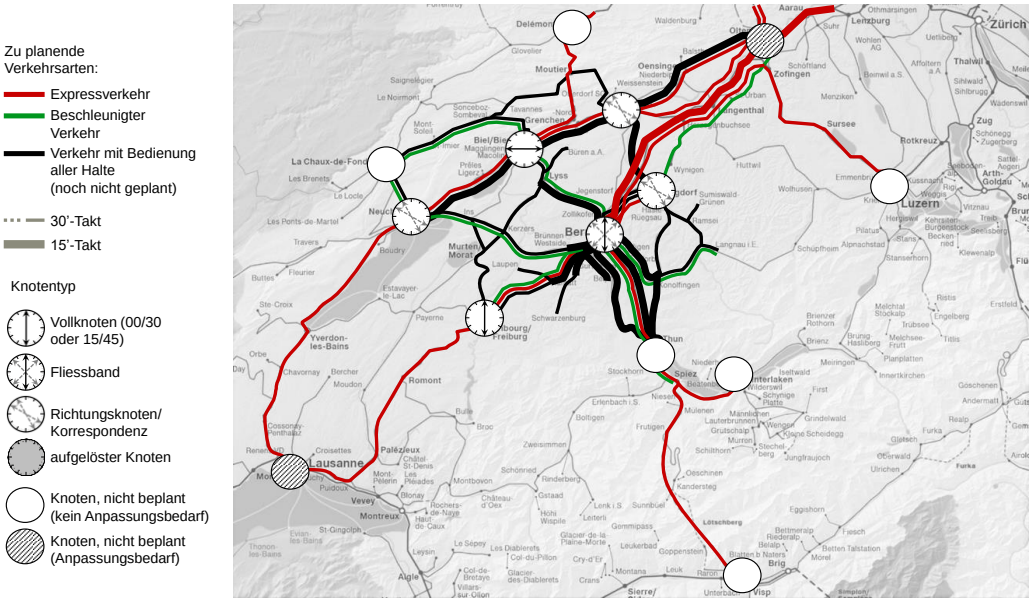


Abb.54 *Skizze mit Knotenstrukturen «15/30-FB»*

Szenario 15/30-AG

Auch in diesem Szenario gibt es gegenüber dem Vergleichsszenario «AS35 ergänzt» keine Veränderungen beim Mengengerüst. Im Knoten Bern werden alle durchgebundenen Züge mit einer möglichst kurzen Standzeit geplant. Auf der NBS Mattstetten – Rothrist sind die Züge möglichst gleichmässig verteilt d.h. mit einer 7'/8'-Verteilung. Weitere Knoten wie zum Beispiel Biel, Neuchâtel, Visp werden grundsätzlich beibehalten. Bei den Knoten, welche nicht beplant werden, gibt es in Lausanne, Luzern und Olten Anpassungsbedarf, während die anderen nicht beplanten Knoten unverändert bleiben.

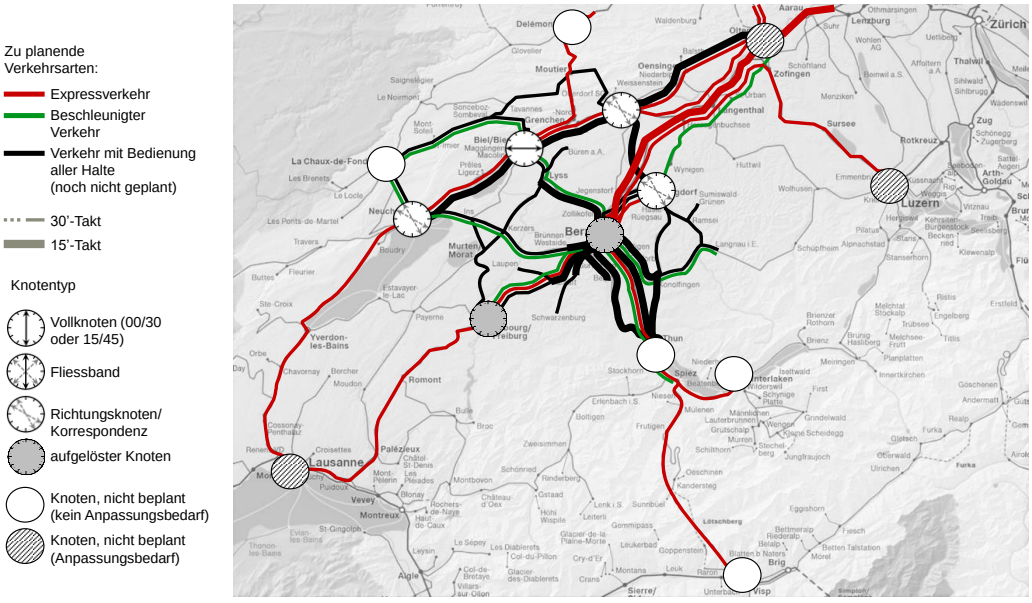


Abb.55 *Skizze mit Knotenstrukturen «15/30-AG»*

Szenario 15/15-VK

Gegenüber dem Vergleichsszenario «AS35 ergänzt» werden die folgenden Linien des Expressverkehrs zu einem 15-Minuten-Takt verdichtet: Bern – Lausanne und Luzern – Bern. Die Linien des beschleunigten Verkehrs von Bern nach Burgdorf, Spiez, Biel, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds und Fribourg erhalten ebenfalls den 15-Minuten-Takt. Der Expressverkehr Zürich – Aarau – Olten – Bern im 30-Minuten-Takt nach Interlaken Ost ergänzt sich im Aaretal mit dem Expressverkehr Basel – Bern – Visp zum 15-Minuten-Takt. Die Haltezeiten in Bern werden konsequent so gewählt, dass alle Anschlüsse systematisch funktionieren und es somit keine halbstündlichen Wechsel mehr gibt. Bei den nicht beplanten Knoten Interlaken, Delémont und gegebenenfalls Olten sind Anpassungen nötig, während die anderen nicht beplanten Knoten unverändert bleiben.

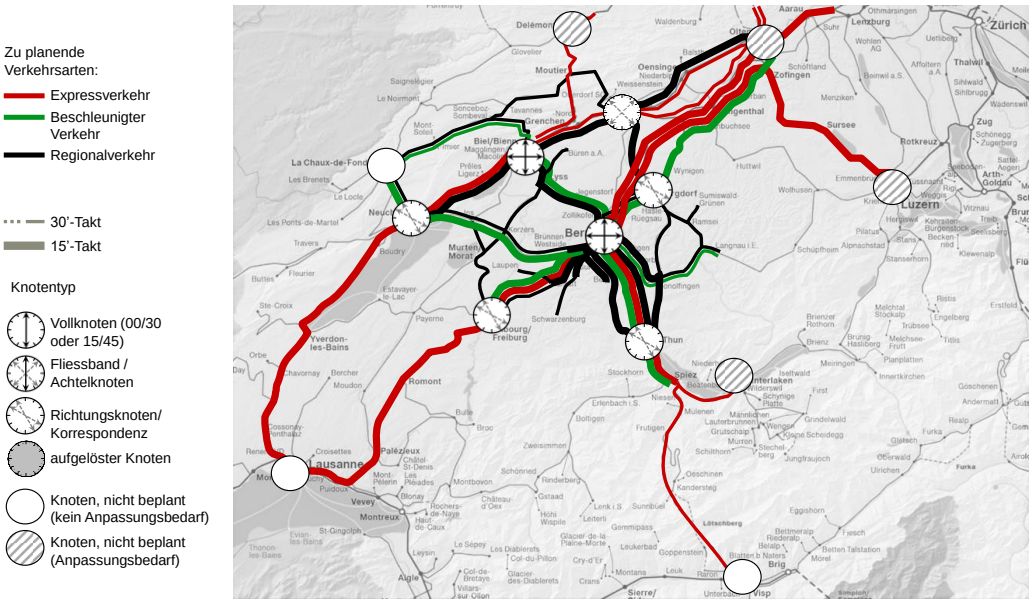


Abb.56 *Skizze mit Knotenstrukturen «15/15-VK»*

Szenario 15/15-FB

Das Mengengerüst dieses Szenarios entspricht dem Szenario 15/15-VK und auch der 15-Minuten-Takt im Aaretal wird durch die selben Züge gebildet.

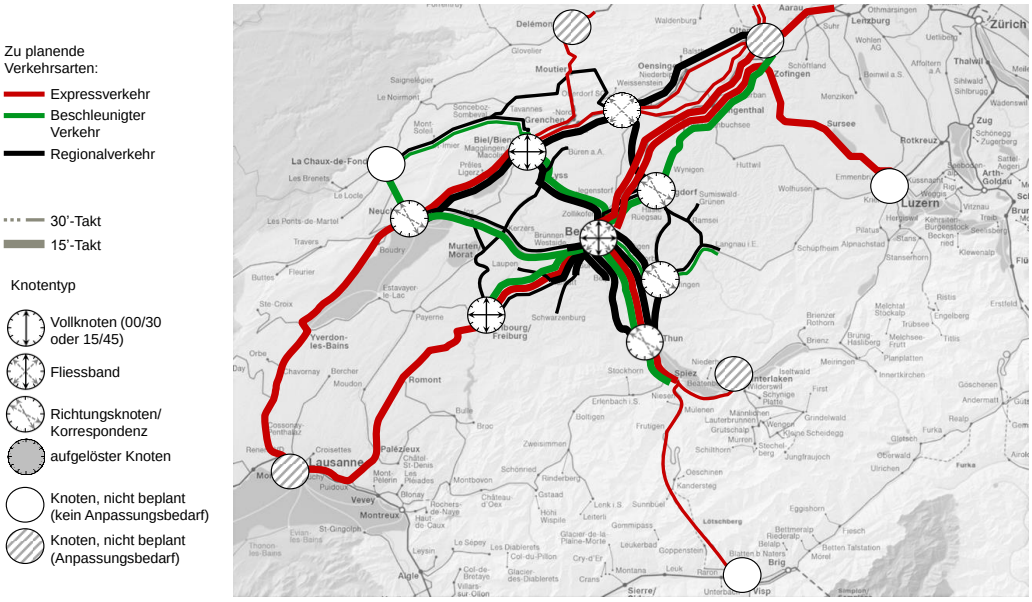


Abb.57 *Skizze mit Knotenstrukturen «15/15-FB»*

Hauptsächliche Änderung gegenüber dem Szenario 15/15-VK ist, dass der Expresszug Zürich – Bern – Lausanne um 8’ gedreht ist und somit nicht im Vollknoten Bern liegt. Der Infrastrukturbedarf für den Expressverkehr im Raum Bern ist mit dem Szenario 15/15-VK vergleichbar: Es werden mindestens 9 Perrongleise, sowie zusätzliche Parallelitäten im Ostkopf des Bahnhofs Bern und / oder eine weitere Entflechtung in Wylerfeld benötigt. Für die nicht beplanten Knoten Lausanne und gegebenenfalls Olten, Interlaken und Délemont sind Anpassungen nötig.

Szenario 15/15-AG

Das Mengengerüst entspricht den Szenarien 15/15-FB und 15/15-AG. Der Knoten Bern ist aufgelöst und alle durchgebundenen Züge haben möglichst kurze Standzeiten. Auf der NBS Mattstetten – Rothrist sind die Züge möglichst gleichmässig verteilt und weisen daher hier möglichst einen 4-Minuten-Abstand auf. Der Infrastrukturbedarf im Raum Bern ist etwas tiefer als bei den Szenarien 15/15-VK und 15/15-FB: So werden hier mindestens 8 Perrongleise und zusätzliche Parallelitäten im Knoten Bern benötigt. Auch eine weitere Entflechtung in Wylerfeld ist erforderlich. Bei den nicht beplanten Knoten Lausanne, Luzern und Olten sind Anpassungen notwendig.

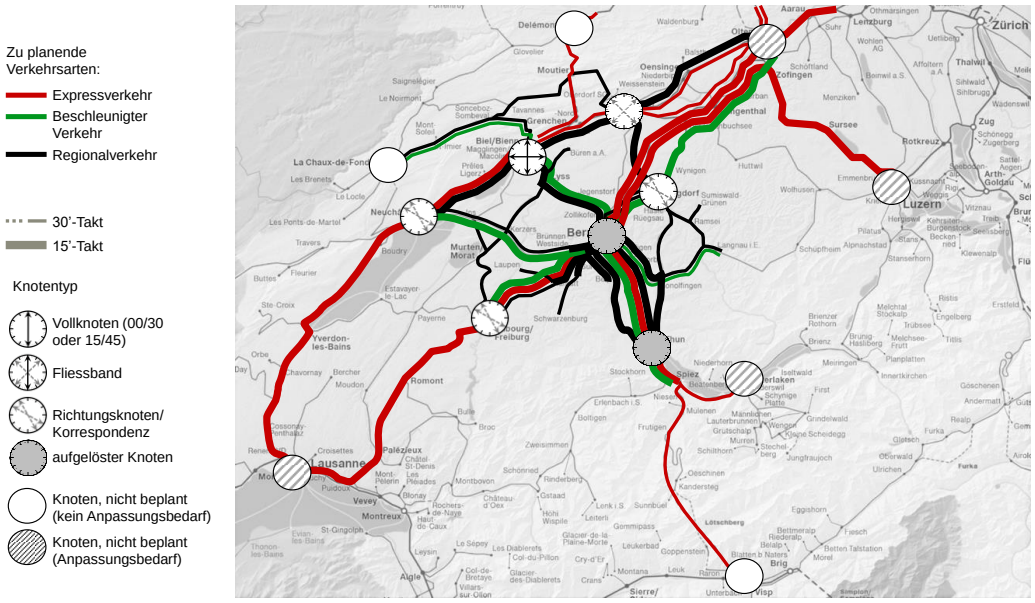


Abb.58 *Skizze mit Knotenstrukturen «15/15-AG»*

5.4.2 Beurteilung

Die 6 erarbeiteten Szenarien werden mithilfe einer Reisezeitanalyse verglichen und beurteilt. Diese wird mit einer Quell-Ziel-Matrix mit allen 33 Expressverkehr-Halten im Perimeter durchgeführt. Die Reisezeitanalyse ermittelt Reisezeiten, Anzahl Umstiege und Anzahl Verbindungen in einem einstündigen Zeitfenster. Es werden keine S-Bahn-Verbindungen berücksichtigt, da diese noch nicht geplant sind. Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Knotenprinzipien möglichst sichtbar zu machen, werden nur Verbindungen über Bern berücksichtigt, exklusive Verbindungen, welche in Bern beginnen oder enden.

Der Vergleich erfolgt über die Ermittlung der Reisezeitäquivalente nach der untenstehenden Formel nach Weis C. [27]:

$$RZ\ddot{A} = SRZ + AdU \times 15' + \frac{1}{4} \times \frac{60'}{AV}$$

RZÄ: Reisezeitäquivalent [Min.]

SRZ: schnellste Reisezeit [Min.]

AdU: Anzahl durchschnittliche Umstiege

AV: Anzahl Verbindungen in einem 1h-Intervall (Eine Verbindung wird nur gezählt, falls sie mindestens 5 Minuten nach einer anderen Verbindung an der Quelle abfährt, resp. mindestens 5 Minuten vor einer anderen Verbindung am Ziel ankommt.)

Beim zweiten Summanden ist erkennbar, dass ein Umstieg mit einem pauschalen Malus von 15 Minuten «bestraft» wird.

Die durchschnittliche Wartezeit (dritter Summand) ergibt sich aus der Division des 60'-Intervalls durch die Anzahl Verbindungen. Zudem muss der Passagier durchschnittlich das halbe Taktintervall warten, ist aber zeitlich nach vorne und hinten flexibel. Damit fliesst ¼ dieses Wertes in die Berechnung ein.

Zusätzlich werden die Ergebnisse auch gewichtet miteinander verglichen. Die Gewichtung erfolgt in Anlehnung an [25] mit dem Gravitationsansatz:

$$\text{Gewicht}_{ab} = \frac{(\text{A. Einwohner} + \text{A. Arbeitsplätze})_a \times (\text{A. Einwohner} + \text{A. Arbeitsplätze})_b}{\left(RZÄ_{ab_{AS2035}}\right)^2}$$

Gewicht_{ab}: Gewicht für Relation von Knoten a nach Knoten b

$RZÄ_{ab}$: Reisezeitäquivalent für Relation von Knoten a nach Knoten b.

Die Resultate dieser Berechnungen werden in Abb.59 und Abb.60 verglichen. In Abb.*59* dient als Referenz jeweils das Szenario mit Vollknoten d.h. für Taktdichte 15/30 das Szenario «AS35 ergänzt» und für die Taktdichte 15/15 das Szenario «15/15-VK». In Abb.60 dient bei allen Szenarien «AS35 ergänzt» als Referenz.

		AS35 ergänzt	15/30 FB	15/30 AG	15/15 VK	15/15 FB	15/15 AG
Nur Verbindungen via Bern	RZÄ ungewichtet	100.0%	99.8%	98.9%	100.0%	99.5%	99.9%
	RZÄ gewichtet	100.0%	99.5%	99.9%	100.0%	99.8%	99.3%
	Reisezeit ungewichtet	100.0%	101.2%	98.8%	100.0%	99.0%	101.8%
	Reisezeit gewichtet	100.0%	100.4%	100.2%	100.0%	99.6%	99.6%
Einschätzung nur für FV	+ Infrastruktur Knoten Bern	7 Gl. für FV	6 Gl. für FV	7 Gl. für FV	9 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.	9 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.	8 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.
	Anpassung weitere Knoten						

Referenz (AS35 ergänzt für 15/30-Szenarien)
Referenz (15/15 VK für 15/15-Szenarien)
eher positiv
eher negativ
Zu prüfen für Einzelfälle
Zu prüfen für mehrere Fälle

Abb.59 *Vergleich Konzepte Expressverkehr mit Referenz des zugehörigen Vollknoten*

		AS35 ergänzt	15/30 FB	15/30 AG	15/15 VK	15/15 FB	15/15 AG
Nur Verbindungen via Bern	RZÄ ungewichtet	100.0%	99.8%	98.9%	93.3%	92.8%	93.2%
	RZÄ gewichtet	100.0%	99.5%	99.9%	95.7%	95.5%	95.1%
	Reisezeit ungewichtet	100.0%	101.2%	98.8%	94.1%	93.2%	95.8%
	Reisezeit gewichtet	100.0%	100.4%	100.2%	99.2%	98.8%	98.8%
Einschätzung nur für FV	+ Infrastruktur Knoten Bern	7 Gl. für FV	6 Gl. für FV	7 Gl. für FV	9 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.	9 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.	8 Gl. für FV, Parall. Ost., Entfl. Wylerf.
	Anpassung weitere Knoten						

Referenz (AS35 ergänzt für 15/30-Szenarien)
eher positiv
eher negativ
Zu prüfen für Einzelfälle
Zu prüfen für mehrere Fälle

Abb.60 *Vergleich Konzepte Expressverkehr mit Referenz AS35 ergänzt*

Die Resultate der Reisezeitanalyse unterscheiden sich nur geringfügig bei den ungewichteten Reiszeitäquivalenten, selbst bei Betrachtung nur der Verbindungen via Bern. Vermutung: Der Vorteil kürzerer Standzeiten bei Fliessband und aufgelöstem Knoten gleicht den Vorteil besserer Anschlüsse im Vollknoten in etwa aus. Die Wirkung der Taktverdichtung ist bedeutend grösser als jene der Knotentypen.

Auch bei den mit der Nachfrage gewichteten Reisezeiten ergeben sich keine massgebenden Unterschiede. Relevante Unterschiede zeigen sich ggf. erst mit Ausplanung des Regionalverkehrs und der Abschätzung der Trassierbarkeit des Güterverkehrs.

Bezüglich Infrastrukturbedarf lassen sich erste Erkenntnisse ableiten: Bei Fliessband resp. aufgelöstem Knoten kann im Knoten Bern voraussichtlich ein Perrongleis eingespart werden (beim 15/15-Szenario kommt es beim Fliessband zu Überlappungen mit Knotenzügen, womit keine Gleise einsparbar sind). Belastbarere Aussagen lassen sich jedoch erst mit Ausplanung auch des Regionalverkehrs ableiten.

Der Anpassungsbedarf bzw. die Auswirkungen (Angebot und / oder Infrastruktur) auf Knoten ausserhalb des Perimeters bei Fliessband und aufgelöstem Knoten sind als Risiko zu sehen. Es sind u.a. Anpassungen der Produktetypen resp. der Haltepolitik möglich, um die Auswirkungen auf weitere Knoten zu beeinflussen.

5.4.3 Auswahl für Vertiefung

Für die weitere Vertiefung werden die drei Szenarien mit dem Mengengerüst «15/15» ausgewählt, da in Zukunft mit einem Mengengerüst mit 15-Minuten-Takt bei allen Verkehren zu rechnen ist. Zudem soll der Einfluss von Infrastrukturengpässen aufgezeigt werden und die vertieften Szenarien sollen gut miteinander vergleichbar sein.

5.5 Konzeptvertiefung

5.5.1 Konzeption

In der Konzeptvertiefung werden, nachdem Expressverkehr und beschleunigter Verkehr bereits geplant sind, der langlaufende Güterverkehr und der Regionalverkehr konstruiert. Der langlaufende Güterverkehr wird zuerst eingeplant und zwar mit dem Mengengerüst gemäss AS 2035. Anschliessend wird der Regionalverkehr konstruiert, wobei auf allen Linien via Bern und allen weiteren Hauptachsen der 15-Minuten-Takt gilt, während die Nebenlinien einen 30-Minuten-Takt erhalten.

Der Infrastrukturbedarf lässt sich nach der Konstruktion aller Verkehre abschätzen. Bei der Konzeption der Szenarien wird darauf geachtet, dass Infrastrukturen dort vorgesehen werden, wo sie nach einer groben Betrachtung der örtlichen Gegebenheiten realisierbar sein dürften (z.B. keine zusätzlichen Gleisachsen auf Tunnelabschnitten, Brücken oder in dicht bebautem Gebiet).

Die vollständigen Netzgrafiken und die Gleisbelegungspläne von Bern befinden sich zu allen vertieften Szenarien im Anhang III.

Nachfolgend sind die vertieften Konzepte kurz beschrieben. Bemerkungen zum Expressverkehr und die Knotenstruktur befinden sich in Kapitel 5.4.1.

Szenario 15/15-VK

Im Szenario 15/15-VK entsprechen die Durchbindungen im Regionalverkehr den Durchbindungen im AS2035. Zum Teil sind dafür – aufgrund der Fahrplanstruktur auf den Strecken – längere Standzeiten in Bern erforderlich. Im Güterverkehr ist das Mengengerüst auf den Strecken umsetzbar. Für die Verknüpfungstrasse Bern Weyermannshaus – Ostermundigen sind im Bereich Wylerfeld / Wankdorf Puffergleise notwendig.

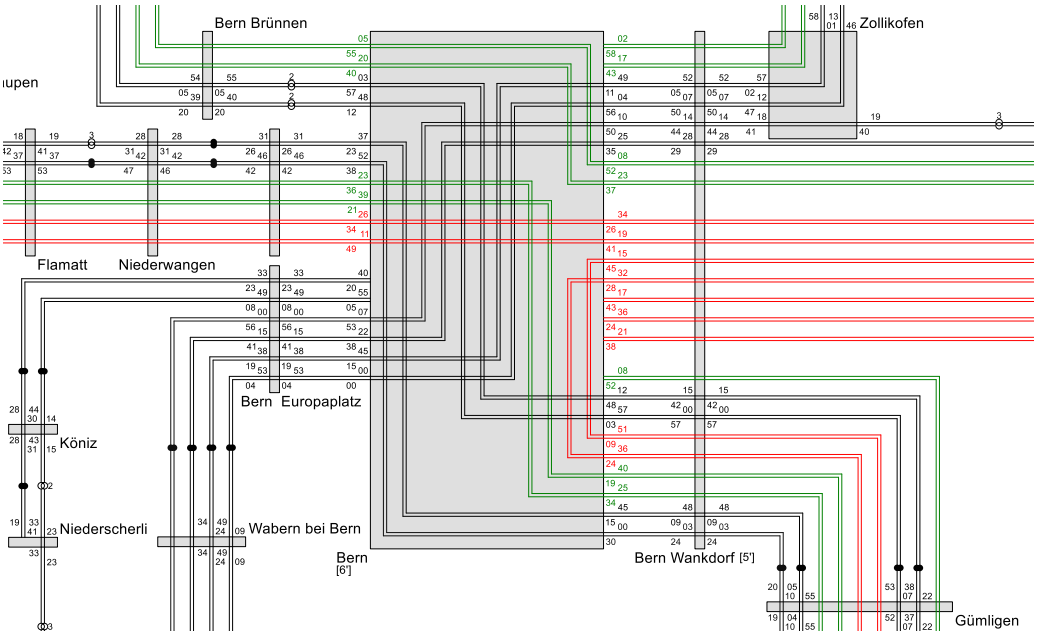


Abb.61 *Ausschnitt Netzgrafik 15/15-VK, Knoten Bern*

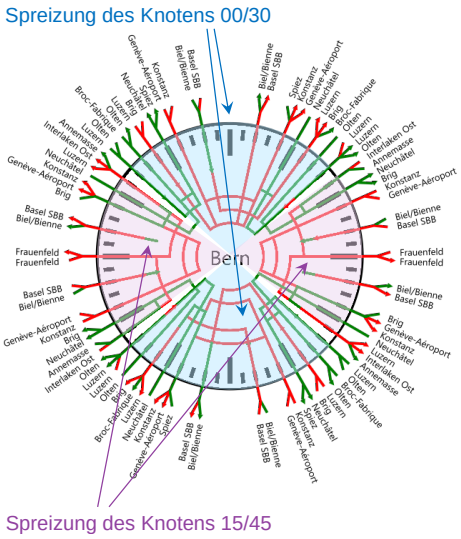


Abb.62 *Anschlussuhr Knoten Bern 15/15-VK (ohne Regionalverkehr)*

Szenario 15/15-FB

Die Durchbindungen in Bern werden im Szenario 15/15-FB gegenüber AS2035 aus fahrplan- und umlauftechnischen Gründen angepasst (z.B.: RE Biel – Bern auf RV Bern – Belp). Das Mengengerüst im Güterverkehr ist mit Ausnahme der Standard-Trasse zwischen Bern und Wankdorf (nur Güter-Express-Trassen möglich) auf den Strecken umsetzbar.

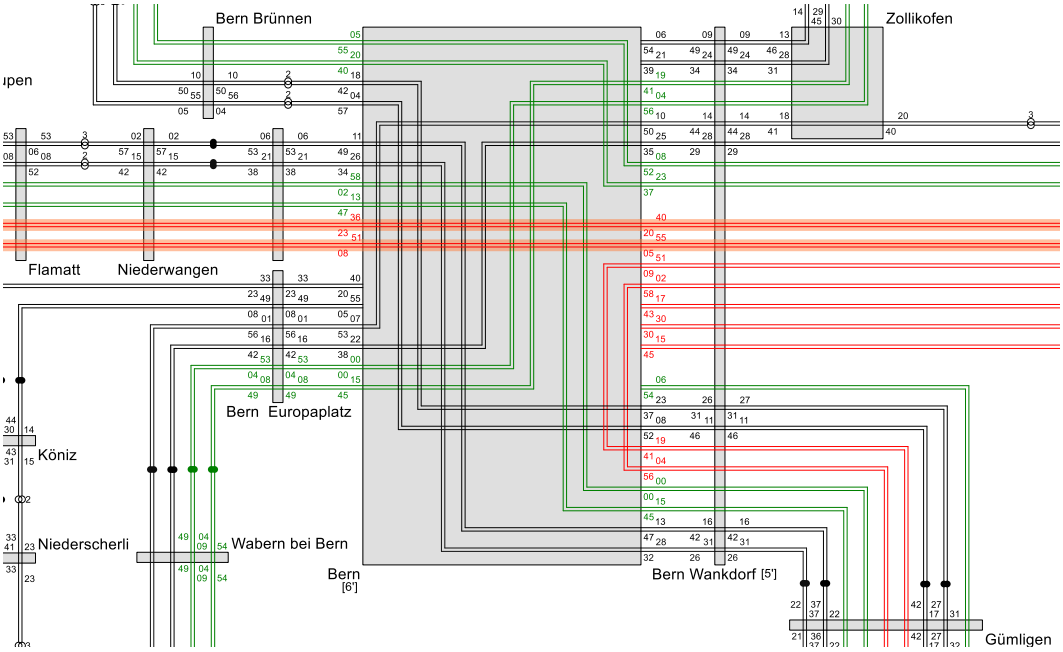


Abb.63 *Ausschnitt Netzgrafik 15/15-FB, Knoten Bern*

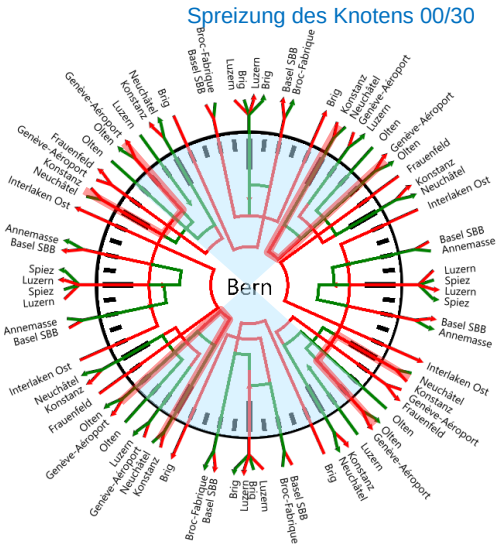


Abb.64 *Anschlussuhr Knoten Bern 15/15-FB (ohne Regionalverkehr)*

Szenario 15/15-AG

Im Szenario 15/15-AG wird in der Vertiefung beim beschleunigten Verkehr eine Änderung vorgenommen: Der RE Biel – Bern verkehrt im 13'/17'-Takt (statt exaktem 15-Minuten-Takt), um die Gütertrasse Bern – Wankdorf zu ermöglichen. Im Regionalverkehr werden gegenüber AS2035 zahlreiche Durchbindungen geändert. Es wird dabei jedoch darauf geachtet, dass nur Durchbindungen von Linienästen mit ähnlicher Nachfrage vorgenommen werden. Vereinzelt gibt es im Regionalverkehr Abweichungen von der Nullsymmetrie zur

Umlaufoptimierung. Dies betrifft Bern – Schwarzenburg und Lyss – Büren a.A. Das Mengengerüst im Güterverkehr ist für alle Strecken umsetzbar.

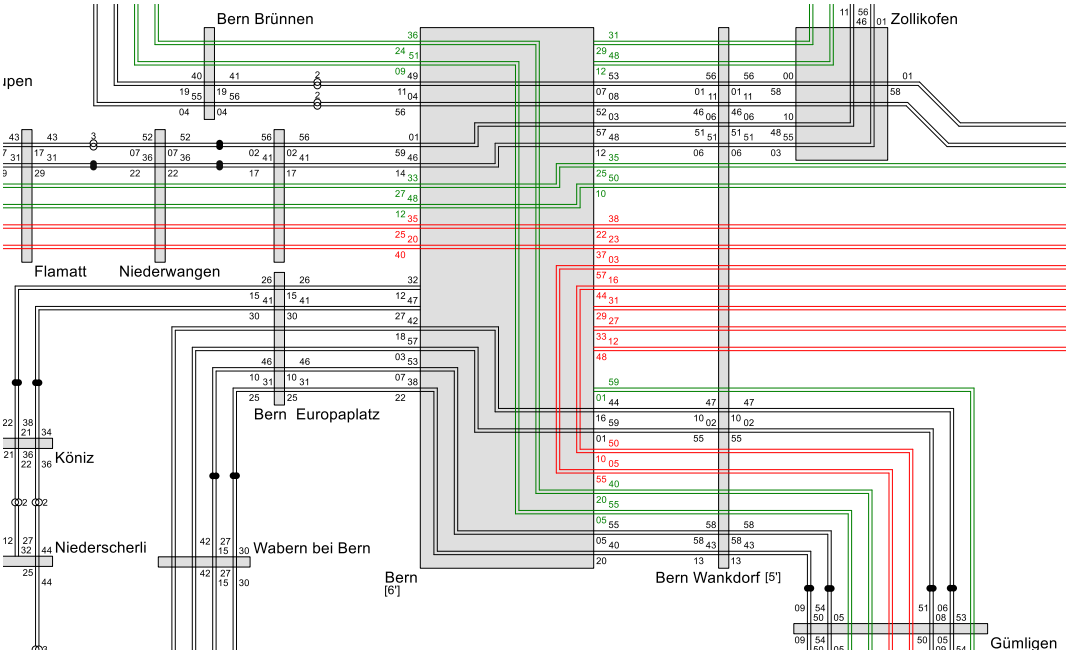


Abb.65 *Ausschnitt Netzgrafik 15/15-AG, Knoten Bern*

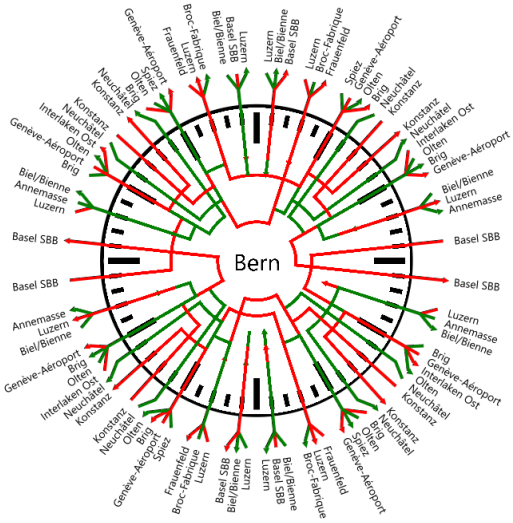


Abb.66 *Anschlussuhr Knoten Bern 15/15-AG (ohne Regionalverkehr)*

5.5.2 Erkenntnisse

Angebot

Das Mengengerüst lässt sich in allen 3 vertieften Szenarien umsetzen. Einzig im Szenario 15-15 FB kann im Knoten Bern nur eine GV-Expresstrasse anstelle einer konventionellen GV-Trasse konfliktfrei geplant werden. An der Konzeption des reinen Expressverkehrs sind teilweise geringe Anpassungen aufgrund der Gesamtoptimierung des Systems notwendig. In Teilbereichen sind weitere Optimierungen, auch in Abstimmung mit der Nachfrage erforderlich (z.B. Produktstruktur Bern – Burgdorf und weiter nach Solothurn / Olten / Emmental). Diese sind jedoch nicht Gegenstand der Forschungsarbeit und auch nicht relevant für den Vergleich der verschiedenen Szenarien. Das Angebot, insbesondere für den Knoten Bern, wird gemäss den Vorgaben der Szenarien umgesetzt. Für die übrigen Knoten im Musternetz ergeben sich weiterhin ähnliche Anschlusssituationen wie im AS 2035, da es

sich bei den umgesetzten Szenarien um eine Evolution des Angebots vom AS 2035 mit der entsprechenden Infrastruktur handelt. Zudem werden in kleineren Knoten üblicherweise die gleichen Anschlüsse hergestellt, so dass oft eine ähnliche Knotenstruktur wie im AS 2035 entsteht.

Infrastruktur

Die zusätzlich erforderlichen Infrastrukturmassnahmen sind durch das deutlich erhöhte Mengengerüst begründet und nur sekundär durch die Struktur gemäss den Szenarien. Die Summe der Infrastrukturmassnahmen erscheint angesichts des umfangreichen Angebotsausbaus verhältnismässig moderat. Im Szenario mit aufgelöstem Knoten (15/15-AG) ist der Infrastrukturbedarf leicht kleiner als mit Vollknoten (15/15-VK) und als beim Fliessband (15/15-FB). Die seitliche Erweiterung Bern ist in keinem Szenario zwingend, beim Szenario mit aufgelöstem Knoten bestehen aber weniger Abhängigkeiten und die Gleisbelegung ist etwas entspannter. Es wird deshalb in diesem Szenario eine höhere Stabilität vermutet, als bei den anderen zwei vertieften Szenarien.

Betrieb

Die hohe Auslastung von einzelnen Netzteilen würde eine Beurteilung der betrieblichen Stabilität bedingen und gegebenenfalls weitere Infrastrukturmassnahmen auslösen. In allen untersuchten Szenarien ist z.B. der Abschnitt Bern – Wankdorf sehr stark ausgelastet: Auf äusseren Gleisen besteht jeweils nur 4 Minuten, auf inneren Gleisen jeweils nur 6 Minuten Pufferzeit pro 30 Minuten.

6 Wirkungsanalyse Szenarien

6.1 Übersicht Vorgehen

Die vertieft ausgearbeiteten drei Szenarien werden bezüglich ihrer Wirkung analysiert. Hierbei werden die Kennwerte für die relevanten Parameter (siehe 2.3.2) ermittelt und dem Vergleichsszenario gegenübergestellt. Dies beinhaltet die folgenden Elemente:

- Ermittlung Kennziffern netzweite Reisezeiten, Anzahl Verbindungen und Anzahl Umstiege (Anwendung Viriato-Tool Reisezeitanalyse)
- Gewichtung der Kennziffern mithilfe der Nachfrage des Vergleichsszenarios (AS 2035). Die SBB stellt dazu vereinfachte Nachfragedaten für die auszuwertenden Relationen zur Verfügung.
- Auslastungsverteilung und maximale Belastung der Publikumsanlagen im Knoten Bern über eine Systemstunde. Dazu Anwendung des Viriato-Moduls «Umlegung», mit welchem die Nachfrage auf einzelne Züge umgelegt und daraus die Ein- und Aussteiger (inkl. Umsteiger) für den untersuchten Knoten je Minute über eine Stunde ausgewertet werden
- Auswertung Bedarf Anzahl Perrongleise über eine Systemstunde für den Knoten Bern.

Die Zusammenhänge der ausgewerteten Wirkungen resp. Nutzen sind in Anlehnung an die in AS 4 ermittelten Schlussfolgerungen abgeleitet und in Form von Diagrammen (u.a. Belastung Publikumsanlagen über eine Systemstunde) dargestellt. Die Analyse wird ergänzt mit qualitativen resp. quantitativen Experten-Einschätzungen (Workshop) u.a. zur Auslastung der Netzkapazität, zur Betriebsstabilität und zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf das gesamte Bahnnetz der Schweiz. Dies betrifft insbesondere Chancen und Risiken des Güterverkehrs.

6.2 Auswertung Indikatoren

6.2.1 Angebotsanalyse

Für die Auswertung der Angebotsanalyse wird eine 203x203-Matrix mit allen Halten im Musternetz und ausgewählten Halten ausserhalb (Halte auf Direktzügen nach ausserhalb des Musternetzes) definiert. Es erfolgt daraus die Ermittlung der folgenden Kenngrössen:

- Reisezeit: mittlere Reisezeit der gezählten Verbindungen je Relation
- Anzahl Verbindungen in einem 60‘-Zeitfenster, Filter: Mindestabstand zwischen Verbindungen 6’ bei Quelle- und Zielort
- Mittlere Anzahl Umstiege

Aus diesen ermittelten Kenngrössen sind die Reisezeitäquivalente analog Kapitel 5.4.2 ermittelt. Die Gewichtung erfolgt anhand einer Gewichtungstabelle der SBB, welche sich auf die Nachfrage im Horizont AS 2035 bezieht. Die Werte darin sind in Klassen eingeteilt. Die Nachfrage von ausserhalb des Musternetzes wird an fix gewählten Einspeisepunkten am Rand des Musternetzes zugeordnet (siehe Abb.67).

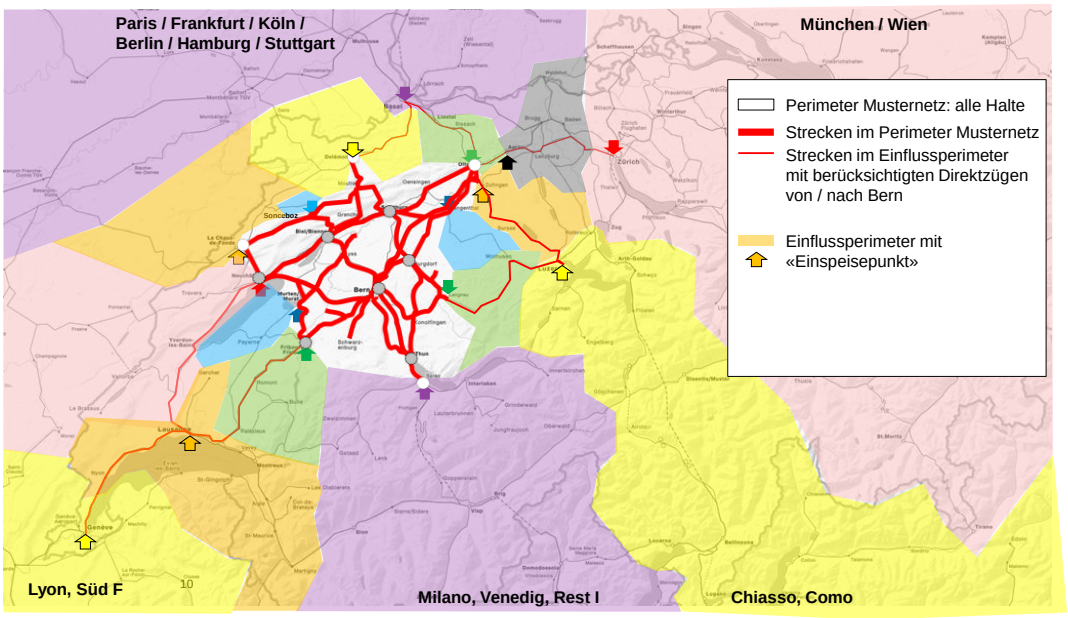


Abb.67 *Nachfragegewichtung Musternetz mit «Einspeisepunkten»*

Der Vergleich der 3 Varianten der ausgewerteten Indikatoren, jeweils als Mittelwert aller Quelle-Ziel-Verbindungen, ist in Tab. 38 dargestellt:

Tab. 23 *Angebotsanalyse Normalverkehrszeit: Reisezeit, Verbindungen, Umstiege*

ungewichtet	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
RZÄ alle [Min.]	94.3	92.8	93.4	100%	98.4%	99.1%
RZÄ Verbindungen via Bern [Min.]	104.7	102.1	103.2	100%	97.5%	98.6%
Reisezeit [Min.]	64.7	63.5	64.1	100%	98.2%	99.0%
Reisezeit via Bern [Min.]	73.7	71.6	72.6	100%	97.2%	98.4%
Anzahl Verbindungen [#]	2.61	2.65	2.58	100%	101.5%	99.1%
Anzahl Umstiege pro Verbindung [#]	1.55	1.53	1.53	100%	98.9%	98.9%
gewichtet und normalisiert	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
RZÄ alle [Personenminuten]	94.3	94.5	94.1	100%	100.2%	99.9%
RZÄ Verbindungen via Bern [Personenminuten]	104.7	105.0	104.0	100%	100.3%	99.3%
Reisezeit [Personenminuten]	64.7	64.6	64.3	100%	99.8%	99.4%
Reisezeit via Bern [Personenminuten]	73.7	73.7	72.8	100%	99.9%	98.7%
Anzahl Verbindungen [#]*	*2.6*	*2.6*	*2.6*	*100%*	*99.2%*	*98.9%*
Anzahl Umstiege pro Verbin. [#]*	*1.5*	*1.6*	*1.6*	*100%*	*103.4%*	*103.4%*

* → Werte nur beschränkt belastbar (Gewichtung bei Perimetergrenzen)

Die Angebotsqualität unterscheidet sich nur im tiefen Prozentbereich. Dabei schneiden die Szenarien FB und AG nicht schlechter als VK ab.

Als weiterer Indikator ist die Verlustzeit im Knoten Bern für Umsteiger und Durchfahrer ermittelt (Tab. 24):

***Tab. 24** Verlustzeit im Knoten Bern Normalverkehrszeit*

	1515-VK	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
Summe Umsteiger Bern [PAX/d]	63'432	65'084	64'581	100%	102.60%	101.80%
Anteil Umsteiger	*20.00%*	*20.60%*	*20.40%*	*100%*	*102.60%*	*101.70%*
Summe Umsteigezeit x Umsteiger [Min. * PAX/d]	707'331	724'478	670'315	100%	102.40%	94.80%
Durchschnittliche Verlustzeit Umsteiger [Min.]	11.15	11.13	10.38	100%	99.80%	93.10%
Summe Durchfahrer Bern [PAX/d]	44'779	43'204	43'999	100%	96.50%	98.30%
Anteil Durchfahrer	*14.20%*	*13.70%*	*13.90%*	*100%*	*96.50%*	*98.10%*
Durchschnittliche Haltezeit Züge, ungewichtet [Min.]	5.52	3.79	3.24	100%	68.70%	58.70%
Summe Haltezeit x Durchfahrer [Min. * PAX/d]	281'099	240'076	222'208	100%	85.40%	79.00%
Durchschnittliche Verlustzeit Durchfahrer [Min.]	6.28	5.56	5.05	100%	88.50%	80.50%
Durchschnittliche Verlustzeit (Umsteiger und Durchfahrer)	**9.13**	**8.91**	**8.22**	**100%**	**97.50%**	**90.00%**

Die Analyse der Tab. 24 zeigt, dass die durchschnittliche Umsteigezeit beim Szenario 15/15-AG ca. 7% kürzer als bei den anderen Szenarien ist. Die durchschnittlichen Haltezeiten der Durchfahrer sind bei 15/15-AG (ca. -20%) und bei 15/15-FB (ca. -12%) merklich tiefer als bei Szenario 15/15-VK. Dadurch weist das Szenario AG auch die kürzesten Verlustzeiten auf. Die mittlere Verlustzeit im Knoten Bern beträgt knapp eine Minute weniger als im Szenario 15/15-VK. Die durchschnittliche Haltezeit lässt sich im Szenario 15/15-AG gegenüber 15/15-VK fast halbieren.

6.2.2 Ausdünnen des Angebots in Randstunden

Mit diesem Indikator wird beurteilt, wie gut sich die verschiedenen Konzepte in Randstunden (oder auch in der Nebenverkehrszeit) ausdünnen lassen. Es ist für jede Variante ein Randstundenkonzept erarbeitet, bei welchem anschliessend wiederum Reisezeitäquivalente und Verlustzeiten bestimmt und verglichen sind.

Die Randstundenkonzepte werden folgendermassen erarbeitet: Es erfolgt eine Ausdünnung der Konzepte ohne Taktsprünge und Optimierung. D.h. es werden keine «Reparaturen» von entfallenen Durchbindungen oder zeitlichem Versatz von Linienästen vorgenommen. Das Ausdünnen erfolgt mit den nachfolgenden Grundsätzen:

- 30-Minuten-Takte beim Expressverkehr und beim beschleunigten Verkehr bleiben als Grundangebot bestehen.
- 15-Minuten-Takte beim Regionalverkehr werden auf 30-Minuten-Takte ausgedünnt. Bei überlagerten 30-Minuten-Takten mit Entfall der jeweils kürzeren Linie oder mittels je einer Taktlage bei verzweigenden Linien.
- Regionalverkehr im 30-Minuten-Takt ausserhalb des Kernbereichs von Bern werden auf Stundentakt ausgedünnt.
- Der beschleunigte Regionalverkehr entfällt.
- Bei nicht mehr passenden Durchbindungen werden Linien gebrochen.

Die Resultate der Reisezeitanalyse für die Randstundenkonzepte sind in Tab. 25 aufgeführt:

***Tab. 25** Angebotsanalyse Randstunden: Reisezeit, Verbindungen, Umstiege*

ungewichtet	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
RZÄ alle [Min.]	107.8	106.9	106.7	100%	99.20%	99.00%
RZÄ Verbindungen via Bern [Min.]	118.5	117	116.5	100%	98.70%	98.40%
Reisezeit [Min.]	73.1	72.2	71.6	100%	98.80%	97.90%
Reisezeit via Bern [Min.]	82	80.2	79.3	100%	97.80%	96.80%
Anzahl Verbindungen [#]	1.6	1.61	1.6	100%	101.20%	100.10%
Anzahl Umstiege pro Verbindung [#]	1.6	1.61	1.63	100%	100.50%	101.80%
gewichtet und normalisiert	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
RZÄ alle [Personenminuten]	101.7	102.3	102.5	100%	100.6%	100.7%
RZÄ Verbindungen via Bern [Personenminuten]	110.8	112.5	111.2	100%	101.6%	100.4%
Reisezeit [Personenminuten]	67.2	67.6	67.2	100%	100.7%	100.0%
Reisezeit via Bern [Personenminuten]	75.9	77.4	76.0	100%	102.1%	100.2%
Anzahl Verbindungen [#]*	*1.9*	*1.9*	*1.8*	*100%*	*98.9%*	*93.2%*
Anzahl Umstiege pro Verbin. [#]*	*1.6*	*1.6*	*1.7*	*100%*	*100.2%*	*102.6%*

Auch zu den Randstunden unterscheiden sich die verschiedenen Szenarien bezüglich der Angebotsqualität nur gering. 15/15-FB und 15/15-AG schneiden etwas schlechter als 15/15-VK ab.

***Tab. 26** Verlustzeit im Knoten Bern Randstunden*

	1515-VK	**1515-FB**	**1515-AG**	**1515-VK**	**1515-FB**	**1515-AG**
Summe Umsteiger Bern [PAX/d]	67'652	71'709	68'442	100%	106.00%	101.20%
Anteil Umsteiger	*21.40%*	*22.80%*	*21.70%*	*100%*	*106.50%*	*101.30%*
Summe Umsteigezeit x Umsteiger [Min. * PAX/d]	899'988	1'024'557	896'184	100%	113.80%	99.60%
Durchschnittliche Umsteigezeit [Min.]	13.3	14.29	13.09	100%	107.40%	98.40%
Summe Durchfahrer Bern [PAX/d]	40'736	35'279	39'470	100%	86.60%	96.90%
Anteil Durchfahrer	*12.90%*	*11.20%*	*12.50%*	*100%*	*87.00%*	*97.00%*
Durchschnittliche Haltezeit Züge, ungewichtet [Min.]	4.83	4.97	3.84	100%	102.80%	79.40%
Summe Haltezeit x Durchfahrer [Min. * PAX/d]	243'460	224'266	216'224	100%	92.10%	88.80%
Durchschnittliche Haltezeit Durchfahrer [Min.]	5.98	6.36	5.48	100%	106.40%	91.70%
Durchschnittliche Verlustzeit (Umsteiger und Durchfahrer)	**10.55**	**11.67**	**10.31**	**100%**	**110.60%**	**97.70%**

Es zeigt sich, dass in der Schwachverkehrszeit die Umsteigezeiten bei 15/15-FB am längsten sind (ca. +7% gegenüber 15/15-VK). Ebenso liegen die durchschnittlichen Haltzeiten

bei dieser Variante höher (ca. +6%), während bei der Variante 15/15-AG kürzere Haltezeiten zu beobachten sind (ca. -8%). Insgesamt verlängern sich die Verlustzeiten bei 15/15-FB, während sie sich bei 15/15-AG gegenüber 15/15-VK leicht verkürzen.

6.2.3 Infrastrukturbedarf

Zum Vergleich der 3 Szenarien sind die Infrastrukturmassnahmen in 5 Kategorien eingeteilt und deren Mengengerüst in Tab. 27 gegenübergestellt:

***Tab. 27** Infrastrukturbedarf*

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

Das Szenario 15/15-AG benötigt am wenigsten Infrastruktur. Dies hängt primär damit zusammen, dass das Szenario auf einen möglichst geringen Infrastrukturbedarf ausgelegt ist. Mit dem Szenario 15/15-FB lässt sich voraussichtlich eine Knotenerweiterung in Bern vermeiden; ansonsten ist ein ähnlich hoher Infrastrukturbedarf wie im Szenario 15/15-VK zu erwarten.

6.2.4 Belastung Publikumsanlagen

Die Belastung der Publikumsanlagen im Knoten Bern ist für den Zeitraum von 7:00 Uhr bis 7:59 Uhr ausgewertet. Dabei ist unterstellt, dass ankommende Fahrgäste die Publikumsanlagen 2 Minuten nach Zugsankunft belasten und abfahrende Fahrgäste 4 Minuten vor Zugabfahrt. Umsteiger werden sowohl als ankommende, als auch als abfahrende Fahrgäste betrachtet. Abb.68 zeigt die so berechnete Belastung der Publikumsanlagen für die vertieften Szenarien.

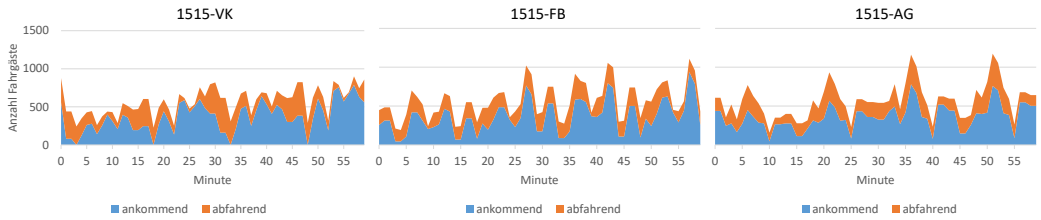


***Abb.68** Belastung der Publikumsanlagen im Knoten Bern*

Aufgrund der längeren Standzeiten der Züge im Knoten, überlagern sich im Szenario 15/15-VK ankommende und abfahrende Fahrgäste weniger als in den anderen beiden Szenarien. In den Szenarien 15/15-FB und 15/15-AG kommt es zu einzelnen Spitzenbelastungen. Allenfalls könnten im 15/15-AG noch Spielräume vorhanden sein, um diese Spitzen etwas zu glätten. Jedoch lassen sich aus den vorliegenden Daten keine Vorteile von 15/15-FB oder 15/15-AG bezüglich Spitzenbelastung von Publikumsanlagen ableiten.

6.2.5 Qualität Güterverkehr

Der Güterverkehr ist für alle 3 vertieften Szenarien im Musternetz vollständig geplant. Dies ist mit einer Ausnahme beim Szenario 15/15-FB (Bern – Bern Wankdorf nur mit Express-Parametern trassierbar) überall möglich.

Die Gegenüberstellung der Fahrzeiten des Güterverkehrs zeigt, dass diese in allen Szenarien vergleichbar sind, wobei 15/15-VK die tiefsten Fahrzeiten aufweist und 15/15-FB praktisch identisch ist. 15/15-AG weist ca. 4% längere Fahrzeiten auf. Tab. 28 zeigt die Fahrzeiten des Güterverkehrs innerhalb des Musternetzes.

***Tab. 28** Güterverkehr Fahrzeiten [min] innerhalb Musternetz*

	Anzahl Trassen/h	15/15 VK		15/15 FB		15/15 AG	
Neuchâtel – Olten (Ost-West)	2 Std	87	89	87	89	87	89
	2 Gex	75	74	75	74	75	74
Frutigen – Olten (Transit)	2 Std	108	111	107	105	104	108
	2 Std	97	98	110	104	106	106
Fribourg – Bern	2 Std	35	31	32	25	35	33
Weyermannshaus – Biel	2 Std	43	39	41*	45*	53	57
Weyermannshaus – LTH	1 Gex	44	43	44	45	47	47
Neuchâtel – Olten (Ost-West)	2 Std	87	89	87	89	87	89
	2 Gex	75	74	75	74	75	74
Summe		**1’861**		**1’877**		**1’948**	
		100%		**101%**		**104%**	

*: Zwischen Bern und Wankdorf nur mit Express-Parametern fahrbar.

Die etwas längeren Fahrzeiten im Güterverkehr beim Szenario 15/45-AG kommen dadurch zu Stande, dass in diesem Szenario aufgrund der Verteilung der Personenzüge keine idealen Lücken für den Güterverkehr wie in Szenario 15/45-VK vorhanden sind.

6.2.6 Nutzbare Reisezeit

Die Möglichkeit, die Reisezeit zu nutzen, ist im Zeitalter der allgemeinen Fernkommunikation ein zunehmend wichtiges Kriterium für die Verkehrsmittelwahl. Insbesondere in der Schweiz, in Deutschland und in Frankreich wurden kürzlich Umfragen zu den Bedingungen für die Nutzbarkeit der Reisezeit durchgeführt, aus denen Folgendes hervorgeht:

- Um die Zeit sinnvoll nutzen zu können, beträgt die Mindestdauer für ununterbrochene Fahrten (daher ohne Umsteigen) ca. 30 Minuten.
- Diese Mindestschwelle hängt mit der Notwendigkeit zusammen, eine echte Aktivität entwickeln zu können, einschliesslich der Zeit, in sie eintauchen können (die etwa 10 bis 15 Minuten dauert).
- Über 30 Minuten ist die Nutzbarkeit umso besser, je länger die Dauer ist.
- Diese Bedingungen gelten für alle Reisezwecke (z.B. Arbeitsweg, aber auch Freizeit).
- Die damit verbundenen Komfortbedingungen sind (in absteigender Reihenfolge der Wichtigkeit):
  - die Gewissheit, einen Sitzplatz zu haben,
  - ein niedriger Geräuschpegel und eine Klimaanlage,
  - das Vorhandensein eines Tisches und
  - das Vorhandensein einer Steckdose.

Für das betrachtete Musternetz bedeutet dies, dass Direktverbindungen immer sehr wertvoll sind, damit sich die Zeit im Zug nutzen lässt. Dazu besonders geeignet sind die interurbanen Beziehungen via Bern (zwischen Fribourg, Neuchâtel, Biel, Burgdorf und Thun). Verbindungen der S-Bahn Bern sind teilweise nicht relevant, weil sie zu kurz sind. Bei Durchmesserlinien wird jedoch auch hier die Schwelle für eine nutzbare Reisezeit erreicht bzw. überschritten, allerdings mit eher kleiner Nachfrage.

Da die Durchbindungen zwischen den verschiedenen vertieften Szenarien sehr ähnlich sind, wird der Effekt der nutzbaren Reisezeit nicht weiter ausgewertet.

6.2.7 Analyse Sekundärknoten

Für die Indikatoren «Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote» und «Heutige ÖV-Systeme (Knoten, Takte), Anzahl Sekundärknoten» ist die Definition der zu untersuchenden Sekundärknoten relevant. Die Definition der Sekundärknoten erfolgt folgendermassen:

- Knoten mit Linien des Expressverkehrs, des beschleunigten Verkehrs und / oder des Regionalverkehrs mit mindestens einer anschliessenden Tramlinie und / oder mindestens drei anschliessenden Buslinien im Perimeter
- Neben den 7 Hauptknoten Bern, Fribourg, Neuchâtel, Biel, Solothurn, Burgdorf und Thun sind dies die 29 Knoten, welche in Tab. 29 mit dem zugehörigen Angebot aufgelistet sind.

Tab. 29 *Taktdichte und Angebot bei Sekundärknoten im Musternetz*

Sekundärknoten	**Taktdichte/Angebot**				
	Expressverkehr	**Beschleunigter Verkehr**	**Regionalverkehr**	**Tram**	**Bus**
BN Wankdorf			4x 15'-Takt	1x	3x
BN Europapl.			3x 15'-Takt	2x	1x
BN Brünnen			1x 15'-Takt	1x	2x
Niederwangen			1x 15'-Takt		4x
Köniz			1x 15'-Takt		3x
Wabern			1x 15'-Takt	1x	2x
Düdingen		1x 15'-Takt	1x 30'-Takt		4x
Murten			2x 30'-Takt		4x
Kerzers		1x 15'-Takt	3x 30'-Takt		3x
Belp			2x 15'-Takt		3x
Konolfingen		1x 30'-Takt	2x 15'-Takt		1x
Langnau		1x 30'-Takt	2x 30'-Takt		5x
Gümligen			2x 15'-Takt	1x (RBS)	2x
Münsingen		1x 15'-Takt	1x 15'-Takt		7x
Spiez	2x 30'-Takt	1x 15'-Takt			7x
Ins		1x 15'-Takt	2x 30'-Takt	1x (asm)	5x
Aarberg			1x 30'-Takt		5x
Zollikofen			3x 30'-Takt	1x (RBS)	4x
Lyss		1x 15'-Takt	4x 30'-Takt		8x
Grenchen S.	1x 30'-Takt		1x 15'-Takt		11x
Niederbipp		1x 15'-Takt		1x (asm)	1x
Oensingen	1x 30'-Takt	1x 15'-Takt		1x (asm)	6x
Grenchen N.	1x 30'-Takt				3x
Moutier	1x 30'-Takt		2x 30'-Takt		4x

***Tab. 29** Taktdichte und Angebot bei Sekundärknoten im Musternetz*

Sekundär-knoten	Taktdichte/Angebot				
	Expressver-kehr	**Beschleunigter Verkehr**	**Regional-verkehr**	**Tram**	**Bus**
Tavannes				1x (CJ)	1x
Langenthal		3x 30'-Takt		2x (asm)	4x
Herzogenb.		1x 15'-Takt			5x
Schwarzenb.			1x 30'-Takt		5x
Sonceboz-S.		1x 30'-Takt	2x 30'-Takt		1x

6.2.8 Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote

Für den Indikator Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote werden 29 ÖV-Sekundärknoten analysiert (siehe 6.2.7). Dabei gelten die folgenden Einschätzungen:

- Positiv: Vollknoten
  Mit einer Busankunft können mehrere Anschlüsse angeboten werden. Symbol: «+»
- Invariant: Richtungsknoten/Korrespondenz
  Da die Anschlüsse nicht mehr konzentriert sind, ist Mehraufwand bei anbindenden Bussen notwendig. Symbol: «o»
- Negativ: Aufgelöster Knoten und Fliessband/Achtelknoten
  Da die Züge dispers verteilt sind (aufgelöster Knoten) oder auf Fliessband- oder Knotenzügen konzentriert werden muss, ergibt sich eine ungünstige Situation für Busse. Symbol: «-»

***Tab. 30** Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote*

Haupt- und Sekundär-knoten	Knotenstruktur				Einschätzung		
	AS35 ergänzt	**15/15-VK**	**15/15-FB**	**15/15-AG**	**15/15-VK**	**15/15-FB**	**15/15-AG**
Bern	VK00/30	VK00/30+15/45	FB/AG	AG	+	-	-
Fribourg	RK/KD	RK/KD	VK00/30+15/45	RK/KD	o	+	o
Neuchâtel	VK00/30	RK/KD	RK/KD	RK/KD	o	o	o
Biel	VK15/45	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	+	+	+
Solothurn	RK/KD	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Burgdorf	RK/KD	RK/KD	RK/KD	RK/KD	o	o	o
Thun	RK/KD	RK/KD	RK/KD	AG	o	o	-
BN Wankdorf	*AG*	AG	AG	AG	-	-	-
BN Europapl.	*AG*	AG	AG	AG	-	-	-
BN Brünnen	*VK00/30+15/45*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Niederwangen	*VK00/30+15/45*	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	FB/AG	+	+	-
Köniz	*VK00/30+15/45*	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	FB/AG	+	+	-
Wabern	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	VK00/30+15/45	-	-	+
Düdingen	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	VK00/30+15/45	-	-	+
Murten	*VK00/30+15/45*	FB/AG	FB/AG	AG	-	-	-
Kerzers	*AG*	AG	AG	AG	-	-	-
Belp	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	VK00/30+15/45	-	-	+
Konolfingen	*RK/KD*	RK/KD	RK/KD	VK00/30+15/45	o	o	+
Langnau	*AG*	AG	AG	VK00/30	-	-	+

***Tab. 30** Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote*

Haupt- und Sekundär-knoten	**Knotenstruktur**				**Einschätzung**		
	AS35 ergänzt	**15/15-VK**	**15/15-FB**	**15/15-AG**	**15/15-VK**	**15/15-FB**	**15/15-AG**
Gümligen	*AG*	FB/AG	AG	FB/AG	-	-	-
Münsingen	*VK00/30+15/45*	AG	AG	AG	-	-	-
Spiez	*RK/KD*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Ins	*AG*	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	+	+	+
Aarberg	*AG*	VK00/30	VK00/30	VK00/30	+	+	+
Zollikofen	*AG*	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	AG	+	+	-
Lyss	*VK00/30*	AG	AG	AG	-	-	-
Grenchen S.	*AG*	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	VK00/30+15/45	+	+	+
Niederbipp	*VK00/30*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Oensingen	*VK00/30+15/45*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Grenchen N.	*VK00/30*	VK15/45	VK15/45	VK15/45	+	+	+
Moutier	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Tavannes	*FB/AG*	VK15/45	VK15/45	VK15/45	+	+	+
Langenthal	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	FB/AG	-	-	-
Herzogenb.	*FB/AG*	FB/AG	FB/AG	VK00/30+15/45	-	-	+
Schwarzenb.	*VK15/45*	VK15/45	VK15/45	AG	+	+	-
Sonceboz-S.	*VK00/30*	VK00/30	VK00/30	VK00/30	+	+	+
Summe					**-7**	**-8**	**-7**

In der Analyse (Tab. 30) zeigt sich, dass in Summe praktisch keine Unterschiede zwischen den Szenarien bestehen. Je nach Szenario schneiden einzelne Knoten besser, andere jedoch schlechter ab.

6.2.9 Heutige ÖV-Systeme (Knoten, Takte), Anzahl Sekundärknoten

Aus Sicht der Forschungsstelle ist eine qualitative Auswertung dieses Indikators nicht zweckmässig, da analog den nicht beplanten Hauptknoten keine Aussage möglich ist, ob bei einer Überplanung eine bessere oder schlechtere Situation herstellbar ist.

Die grundsätzliche Eignung eines Knotens für anschliessende ÖV-Angebote wird bereits mit dem Indikator «Kompatibilität / Anpassbarkeit anschliessende ÖV-Angebote» vorgenommen (siehe 6.2.8).

6.2.10 Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen

Um die Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen qualitativ zu überprüfen, sind die Knotenstrukturen der Haupt- und Sekundärknoten ausgewertet. Dabei gilt:

- Positiv: Aufgelöster Knoten und Fliessband/Achtelknoten
  «ÖIV» (z.B. selbstfahrende Autos) und «Stetigförderer» können insbesondere aufgelöste Knoten aber auch Fliessbandsysteme gut bedienen, da die Züge dispers verteilt sind.
- Invariant: Richtungsknoten/Korrespondenz
  Durch Konzentration von aufeinander abgestimmten Zügen sind die Bedingungen für «ÖIV» und «Stetigförderer» nicht mehr ideal (Zubringer-Infrastruktur über kurze Zeiträume stark ausgelastet, Zuverlässigkeit Transportkette in Frage gestellt).

- Negativ: Vollknoten
  Da alle Züge zu den Knotenzeiten konzentriert sind, schaffen es «ÖIV» und «Stetigförderer» kapazitiv nicht, alle Anschlusswünsche zu befriedigen (Zubringer-Infrastruktur ist überlastet oder müsste auf ausgeprägte Spitzen ausgelegt werden, Zuverlässigkeit Transportkette nicht gegeben).

***Tab. 31** Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen*

Haupt- und Sekundärknoten	**Einschätzung**		
	15/15-VK	**15/15-FB**	**15/15-AG**
Bern	-	+	+
Fribourg	o	-	o
Neuchâtel	o	o	o
Biel	-	-	-
Solothurn	+	+	+
Burgdorf	o	o	o
Thun	o	o	+
BN Wankdorf	+	+	+
BN Europapl.	+	+	+
BN Brünnen	+	+	+
Niederwangen	-	-	+
Köniz	-	-	+
Wabern	+	+	-
Düdingen	+	+	-
Murten	+	+	+
Kerzers	+	+	+
Belp	+	+	-
Konolfingen	o	o	-
Langnau	+	+	-
Gümligen	+	+	+
Münsingen	+	+	+
Spiez	+	+	+
Ins	-	-	-
Aarberg	-	-	-
Zollikofen	-	-	+
Lyss	+	+	+
Grenchen S.	-	-	-
Niederbipp	+	+	+
Oensingen	+	+	+
Grenchen N.	-	-	-
Moutier	+	+	+
Tavannes	-	-	-
Langenthal	+	+	+
Herzogenb.	+	+	-
Schwarzenb.	-	-	+
Sonceboz-S.	-	-	-
Summe	**7**	**8**	**7**

Bei der Analyse (Tab. 31) der Haupt- und Sekundärknoten zeigt sich, dass sich in Summe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Szenarien ergeben.

6.2.11 Ressourceneinsatz EVU (Rollmaterial)

Um den Ressourcenbedarf für die EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen) abzuschätzen werden 3 Kennzahlen ermittelt:

- Umlaufbedarf (Systemangebot, Einheitsflotte unverstärkt) beschleunigter Verkehr sowie Regionalverkehr
- Summe der Wendezeiten des Expressverkehrs in Bern
- Summe der Haltezeiten des Expressverkehrs in Bern

In Tab. 32 ist der Umlaufbedarf beschleunigter Verkehr sowie Regionalverkehr dargestellt. Als Annahme gilt die minimale Wendezeit von 4 Minuten mit zweitem Lokführer:

***Tab. 32** Umlaufbedarf*

	Anzahl [-]	Δ zu VK [-]	Δ zu VK [%]
15/15 VK	160	-	100%
15/15 FB	157	-3	98.1%
15/15 AG	157	-3	98.1%

Es zeigt sich, dass die Szenarien 15/15-FB und 15/15-AG mit leicht geringerem Ressourcenbedarf gegenüber dem Szenario 15/15-VK auskommen.

In Tab. 33 sind die Wendezeiten des Expressverkehr in Bern dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Wendezeiten beim Szenario 15/15-FB leicht länger sind, während sich diese im Szenario 15/15-AG gegenüber 15/15-VK wesentlich verkürzen lassen:

***Tab. 33** Wendezeiten Expressverkehrs in Bern (Werte pro h)*

	Wendezeit [Min.]	Δ zu VK [Min.]	Δ zu VK [%]
15/15 VK	60	-	100%
15/15 FB	64	+4	107%
15/15 AG	50	-10	83%

Die Haltezeiten des Expressverkehrs in Bern verkürzen sich gemäss Tab. 34 bei den Szenarien 15/15-FB und 15/15-AG gegenüber 15/15-VK signifikant:

***Tab. 34** Haltezeiten Expressverkehrs in Bern (Werte pro h)*

	Wendezeit [Min.]	Δ zu VK [Min.]	Δ zu VK [%]
15/15 VK	60	-	100%
15/15 FB	46	-14	77%
15/15 AG	40	-20	67%

6.2.12 Wirkung nach Gemeindetypen

Um die Wirkung der verschiedenen Szenarien nach Gemeindetypen zu ermitteln, werden 2 verschiedene Kennzahlen ermittelt:

- Reisezeit zwischen Gemeinden und Bahnhof Bern nach Gemeindetyp
- Summe aller Reisezeitäquivalenten (RZÄ) von/nach Gemeinden nach Gemeindetyp (ungewichtet und gewichtet)

Die Analyse von Tab. 35 zeigt, dass Gebiete ausserhalb des Einflussgebietes stätischer Kerne im Vergleich zu Kernräumen und deren Einflussgebieten bei den Szenario 15/15-FB und 15/15-AG gegenüber 15/15-VK geringfügig mehr profitieren:

Tab. 35 *Reisezeit nach Bern [Min.] Mittelwert je Typ*

	Alle Gemeinden	Gemeindetyp „Städtischer Kernraum“	Gemeindetyp „Einflussgebiet städtischer Kerne“	Gemeindetyp „ausserhalb Einflussgebiet städtischer Kerne“
15/15 VK	35	31.1	32.2	42.2
15/15 FB	34	30.3 (-0.8)	31.6 (-0.6)	40.6 (-1.6)
15/15 AG	34	30.5 (-0.6)	31.8 (-0.4)	41.1 (-1.1)

Bezüglich der Reisezeitäquivalente bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien bezüglich Wirkung auf Gemeindetypen, wie Tab. 36 zeigt.

Tab. 36 *Reisezeitäquivalente 15/15-VK:= 100%*

ungewichtet	**Städtischer Kernraum**	**Einflussgebiet städtischer Kerne**	**ausserhalb Einfluss städtischer Kerne**
15/15 VK	100%	100%	100%
15/15 FB	98.6%	98.6%	99.0%
15/15 AG	99.2%	99.0%	99.1%
gewichtet	**Städtischer Kernraum**	**Einflussgebiet städtischer Kerne**	**ausserhalb Einfluss städtischer Kerne**
15/15 VK	100.0%	100.0%	100.0%
15/15 FB	100.0%	99.6%	99.8%
15/15 AG	99.9%	99.4%	99.8%

6.2.13 Stabilität der Transportkette (Umsteige-, Haltezeiten Knoten Bern)

Um die Stabilität der Transportkette der verschiedenen Szenarien zu beurteilen, sind die Reserven in der Umsteigezeit und die Reserven in der Haltezeit der Züge im Knoten Bern ausgewertet. Wichtig zu beachten ist dabei, dass die ausgewerteten Grössen nur einen groben Hinweis zur Gesamtstabilität des Systems geben. Insbesondere die Betriebsstabilität ist nicht betrachtet.

Reserven in der Umsteigzeit

Abb.69 stellt die Verteilung der Umsteiger nach Umsteigezeit dar. Dabei zeigt sich, dass Im Szenario 15/15-AG 40% der Umsteiger einen Anschluss mit nur 6 oder 7 Minuten Umsteigezeit haben. Diese Anschlüsse sind bereits bei einer Ankunftsverspätung von weniger als 3 Minuten gefährdet, was jedoch gemäss aktueller Definition der SBB als pünktlich gilt. In den Szenarien 15/15-VK und 15/15-FB ist dies mit 16% bzw. 14% weniger der Fall.

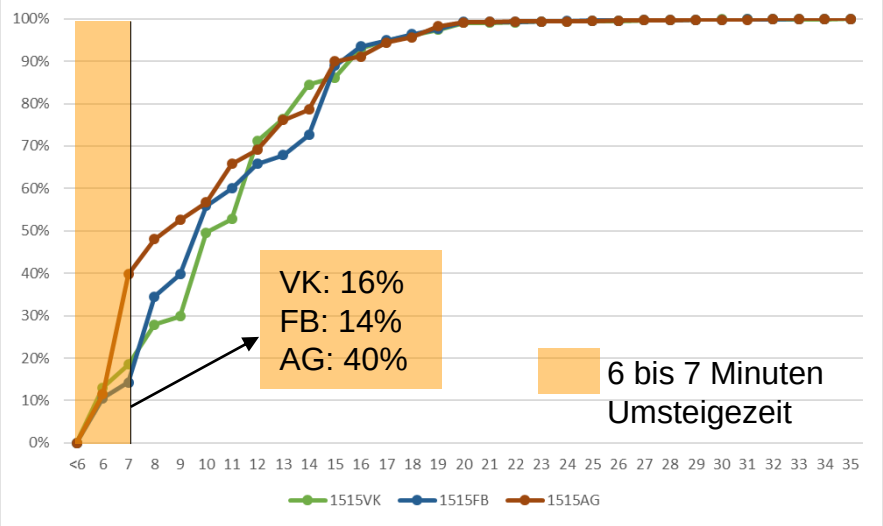


Abb.69 *Verteilung der Umsteiger nach Umsteigezeit in Bern*

Reserven in der Haltezeit

Wie Tab. 37 zeigt, sind die durchschnittlichen Haltezeiten im Szenario 15/15-VK wesentlich grösser als in den anderen beiden Szenarien. In diesem Szenario bestehen deshalb mehr Möglichkeiten, Verspätungen im täglichen Betrieb abzubauen.

Tab. 37 *Haltezeiten aller Züge in Bern*

	Durchschnittliche Haltezeit [Min.]	[%]
15/15 VK	5.52	100%
15/15 FB	3.79	68.7%
15/15 AG	3.24	58.7%

Weitere Überlegungen zur Stabilität

Grundsätzlich dürfte die Stabilität des Fahrplans bei Varianten mit weniger Bündelungen von Zügen besser sein. Im Szenario 15/15-VK sind alle Fernverkehrszüge stark gebündelt, was zu vielen Verspätungen führen kann, wenn z.B. der erste Zug eines Bündels verspätet ist. Die Verspätung des ersten Zuges überträgt sich dabei auf alle folgenden Züge des Bündels. Im Szenario 15/15-AG, und in geringerem Masse im Szenario 15/15-FB, sind die Züge weniger stark gebündelt, wodurch Verspätungsübertragungen voraussichtlich weniger auftreten werden, da zwischen den Zügen etwas Puffer besteht.

6.2.14 Nutzbarkeit ÖV durch Personen mit eingeschränkter Mobilität

Um die Nutzbarkeit des Angebots der verschiedenen Szenarien für Personen mit eingeschränkter Mobilität zu überprüfen, wird eine Reisezeitanalyse mit verlängerter Umsteigezeit im Knoten Bern durchgeführt. Für diese Analyse ist in Bern die minimale Umsteigezeit auf 12 Minuten gesetzt, da von einer Gehgeschwindigkeit von 0.7 m/s anstelle von 1.34 m/s ausgegangen wird.

Die Analyse zeigt, dass sich die Reisezeiten der verschiedenen Szenarien nur im tiefen %-Bereich unterscheiden und daher sehr ähnlich sind.

7 Evaluation Szenarien

7.1 Übersicht Vorgehen

Anhand der in AS 1 definierten Ziele werden die Szenarien auf Basis deren Wirkungen beurteilt und dem Vergleichsszenario gegenübergestellt (Vergleichswertanalyse mit den Wirkungen aus AS 6).

7.2 Vergleich Szenarien

Die ausgewerteten Indikatoren werden in unterschiedlichen Einheiten ermittelt. Für die Gegenüberstellung wird eine einfache Vergleichsskala eingeführt und jeder Wert des Szenarios Fliessband und aufgelöster Knoten dem Wert des Szenarios Vollknoten als Vergleichsbasis gegenübergestellt. Das Szenario Vollknoten wird somit bei allen Indikatoren mit «o» beurteilt. Die abweichende Beurteilung umfasst «--» für deutlich schlechter und «-» für leicht schlechter resp. «+» für leicht besser und «++» für deutlich besser. Indikatoren, für welche mit der Datenlage keine Einstufung möglich ist, werden mit «/» gekennzeichnet.

Je Indikator folgt eine kurze Erklärung der Einstufung in der Vergleichsskala auf Grund des ermittelten Wertes bzw. der qualitativen Beurteilung. Die Indikatoren Reisezeit, Anzahl Verbindungen und Anzahl Umstiege werden hier nur noch zusammengefasst als Reisezeitäquivalent aufgeführt. Der Indikator «nutzbare Reisezeit» und «Sekundärknoten» werden nicht mehr verglichen (vgl. dazu auch Kapitel 6).

***Tab. 38** Einstufung Werte der Indikatoren je Szenario in die Vergleichsskala*

Indikator	VK	FB	AG	Erklärung
Reisezeitäquivalent	Vergleichsbasis	**o**	**o**	Unterschiede bei Reisezeit, Anzahl Umstiege und Anzahl Verbindungen unter 1% (bei grosser Grundgesamtheit); Wirkungen kürzere Haltezeiten und längere Anschlüsse heben sich nahezu auf
Zeitverlust im Knoten		**o**	**+**	Fokus auf Knoten Bern zeigt relevanten Unterschied bei AG ggü. VK von 10% weniger Zeitverlust (rund 1 Minute pro Fahrgast); bei FB marginale 2.5% weniger Zeitverlust
Anschliessender ÖV		**o**	**o**	je nach Szenario wechselnde Verbesserungen und Verschlechterungen der Anschlusssituation je Sekundärknoten; in Summe kein relevanter Unterschied
Neue Mobilitätsformen		**o**	**o**	je nach Szenario wechselnde Verbesserungen und Verschlechterungen der Anschlusssituation je Sekundärknoten; in Summe kein relevanter Unterschied
Ausdünnen des Angebots in Randstunden		**o**	**o**	Unterschiede bei Reisezeitäquivalenten unter 1%; Verlustzeit im Knoten Bern bei FB grösser, bei AG marginal kleiner; relativ geringe Aussagekraft der Werte auf Grund hoher Abhängigkeit von der Konzeption des Angebots in den Randstunden → keine eindeutige Tendenz
Nutzbarkeit für eingeschränkt mobile Personen		**o**	**o**	nur marginale Unterschiede bei Anschlussqualität im Knoten Bern und Reisezeit mit verlängerter Umsteigezeit
Stabilität Transportkette		***/***	***/***	Ausgewertete Kenngrössen weisen reduzierte Reserven in Umsteige- und Haltezeit bei AG auf; weitere hier nicht betrachtete Einflüsse gemäss Experteneinschätzung mit gegenläufiger Tendenz (Betriebsstabilität, freie Kapazität in der Gleisbelegung) → keine eindeutige Tendenz und keine Einstufung möglich
Ressourceneinsatz EVU		**o**	**+**	AG weist geringen Rollmaterialbedarf auf durch bessere Umläufe im RV sowie potenziell auch für Expressverkehr durch kürzere Halte- und Wendezeiten. FB mit gleichen Verbesserungen beim RV, nicht jedoch beim Expressverkehr.
Infrastrukturbedarf Strecke		**o**	**+**	AG benötigt weniger zusätzliche Streckengleise als VK (Konzept AG auf geringen Infrastrukturbedarf optimiert)

***Tab. 38** Einstufung Werte der Indikatoren je Szenario in die Vergleichsskala*

Indikator	VK	FB	AG	Erklärung
Infrastrukturbedarf Knoten		+	+	FB und AG benötigen im Gegensatz zu VK keinen Ausbau des Knotens Bern, jedoch mehr Ausbauten von mittleren Knoten
Kapazität/Qualität Güterverkehr		-	-	Einschränkungen bei der Trassierbarkeit des GV im Knotenbereich bei FB; AG weist leicht verlängerte Fahrzeiten der Trassen auf
Spitzen Publikumsanlagen		/	/	leicht höhere Spitzenbelastungen bei FB und AG durch Überlagerung ankommende und abfahrende Fahrgäste; Ergebnis ist nicht zwingend szenariobedingt, Spielraum insbesondere bei AG für Optimierung vorhanden und Detailbetrachtung nötig → keine eindeutige Tendenz und keine Einstufung möglich
Erreichbarkeit Raumtypen		o	o	Unterschiede der Reisezeitäquivalente zwischen Gemeindetypen unter 1%; Reisezeit nach Bern bei FB und AG marginal tiefer als bei VK

Die obigen Beurteilungen sind in der Abb. 70 als Werteprofile dargestellt, wobei die nicht eingestuften Indikatoren nicht mehr aufgeführt sind (Stabilität Transportkette und Spitzenbelastung Publikumsanlagen):

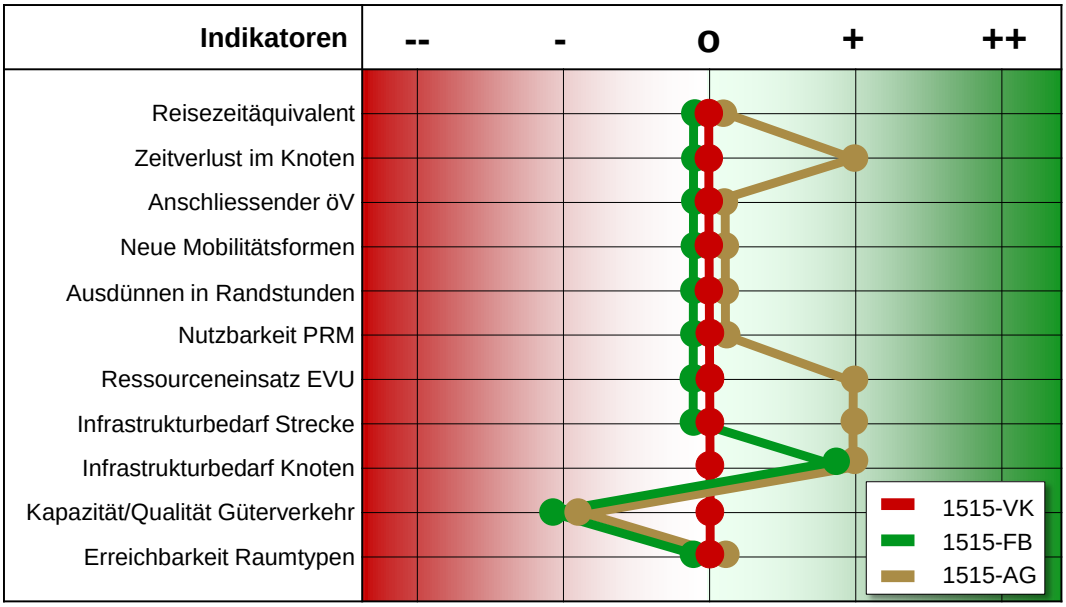


***Abb. 70** Werteprofile Wirkungen der Szenarien*

Das ausgeglichene Bild widerspiegelt die nicht vorhanden oder nicht relevanten Unterschiede bei den meisten Indikatoren. Wo Unterschiede bestehen, sind diese gering. Es lässt sich zusammenfassen, dass eine Knotenauflösung ggü. dem Vollknoten im untersuchten Musternetz mehr Vorteile als Nachteile mit sich bringt. Die Vorteile liegen beim leicht kleineren Zeitverlust im Knoten (für Umsteiger und Durchfahrende), beim potenziell tieferen Ressourceneinsatz bei den EVU und beim geringeren Infrastrukturbedarf. Die Qualität der Güterverkehrstrassen ist nachteilig, wobei hier gezielt Verbesserungen gesucht werden müssten (ggf. zu Lasten eines wiederum höheren Infrastrukturbedarfs). Das Szenario mit einem Fliessbandzug weist bei den unterstellten 15-Minuten-Takten nur beim Infrastrukturbedarf im Knoten einen Vorteil ggü. dem Vollknoten auf (keine Erweiterung der Anzahl Perrongleise im Knoten Bern), währendem die Trassierung der Gütertrassen im Knotenzulauf reduziert ist (teilweise nur mit Express-Güterzugsparametern trassierbar).

7.3 Schlussfolgerungen Wirkungsanalyse

7.3.1 Wesentliche Erkenntnisse

Aus der Wirkungsanalyse und dem Vergleich der konkretisierten Szenarien für drei Knotentypen mit jeweils 15-Minuten-Takten im Musternetz können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

Die Unterschiede bei der Angebotsqualität sind zwischen Vollknoten, Fliessband-Knoten und aufgelöstem Knoten relativ gering. Positive und negative Wirkungen bei Reisezeit, Angebotsdichte und Umsteigehäufigkeit gleichen sich nahezu aus. Einzig beim aufgelösten Knoten ist eine Reduktion der Verlustzeit der Reisenden (Umsteiger und Durchfahrer) im Knoten Bern um durchschnittlich 1 Minute ggü. dem Vollknoten erzielbar (gilt für das Musternetz, nicht unbedingt für ein nationales Konzept).

Ein relevanter Unterschied besteht beim Infrastrukturbedarf. Mit der Knotenauflösung lassen sich die gewonnenen Freiheitsgrade zur Optimierung der Kapazitätsnutzung bzw. des Infrastrukturbedarfs verwenden. Beim Vollknoten ist der Ausbaubedarf der Knoteninfrastruktur wahrscheinlich, beim aufgelösten Knoten und unter Umständen auch beim Fliessband vsl. vermeidbar.

Der Ressourcenbedarf ist beim aufgelösten Knoten auf Grund von kürzeren Haltezeiten und einer Umlaufoptimierung beim Regionalverkehr potenziell geringfügig kleiner als bei den anderen Szenarien.

Die Stabilität der Transportkette wird neben der Reserve in der Haltezeit (geringer beim aufgelösten Knoten) von weiteren Faktoren wie der Bündelung / Verteilung von Trassen oder Reserven in der Gleisbelegung beeinflusst. Eine belastbare Gesamtbeurteilung der Zuverlässigkeit ist mit der vorliegenden Einschätzung nicht machbar.

Die Kapazitätsnutzung und die Trassierung des Güterverkehrs bei Knotenauflösung sind potenziell erschwert (geringere Zeitfenster für den Güterverkehr durch Entfall Bündelung von Personenverkehrs-Trassen). Die in den Szenarien FB und insbesondere AG auftretenden Verschlechterungen für den Güterverkehr müssten in einer (netzweiten) Vertiefung der Konzeption mit höherer Priorisierung der GV-Trassen verifiziert werden.

Bezüglich der weiteren Indikatoren (anschliessende Angebote, Kompatibilität neuer Mobilitätsangebote, Nutzbarkeit Personen mit eingeschränkter Mobilität und Wirkung bezüglich Raumtypen) bestehen kleine oder nicht szenariobedingte Unterschiede.

7.3.2 Einschätzung der Ergebnisse

Die Beurteilung der Szenarien gilt grundsätzlich für das Musternetz im Raum Bern, für 15-Minuten-Takte bei allen Verkehrsarten und dem je Szenario unterschiedlichen Knotentyp des Knotens Bern. Die Einschätzung zur Übertragbarkeit auf andere Netzteile-/Netztypen ist im folgenden Kapitel zu finden.

Die vorgenommene Teiloptimierung der einzelnen Szenarien beeinflusst die Auswertungen der Indikatoren. Die ausgearbeiteten Konzepte je Szenario sind bezüglich Angebotsqualität und Infrastrukturbedarf zweckmässig optimiert, so dass die Grundidee des Szenarios nicht starr umgesetzt ist. Ein Beispiel dazu: Es bestehen auch beim aufgelösten Knoten bewusst gewählte Anschlüsse, wenn sie ohne andere negative Auswirkungen machbar sind. Dies ist im Wesentlichen eine Folge der bestehenden, auf Knoten ausgerichteten Fahrzeiten zwischen den Knoten und den vorhandenen Infrastrukturen. Diese Gesamtsystemoptimierung würde in einer praktischen Anwendung noch ausgeprägter erfolgen. Die ausgearbeiteten Szenarien sind somit realitätsnaher, auch wenn dadurch die Aussagekraft der Wirkung ggü. einer konsequenten Umsetzung der theoretischen Knotenidee beeinflusst wird. Diesem Umstand wird Rechnung getragen, in dem in der Beurteilung nur der möglichst ausschliesslich szenariobedingte Einfluss abgeschätzt wird.

7.3.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Übertragbarkeit der vorliegenden Erkenntnisse aus der Ausplanung und Wirkungsanalyse der Szenarien im Musternetz auf andere Netzteile (ausserhalb des Musternetzes) und Netztypen (z.B. mit Knoten des Regionalverkehrs anstatt für den Expressverkehr wie in den Szenarien untersucht) kann grob wie folgt eingeschätzt werden.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Knoten scheint gegeben, wenn die wichtigsten Einflussgrössen ähnlich sind wie in Bern. Dies betrifft die Anzahl und die Durchbindung von Expresslinien, die Grösse des im Knoten verkehrende RV-Systems sowie die hoch belastete Infrastruktur im Knoten und auf den Zulaufstrecken. Unterschieden werden kann die Einschätzung der Übertragbarkeit bezüglich Wirkung auf die Angebotsqualität und die Infrastruktur.

Angebotsseitig werden die Erkenntnisse für die Knoten Lausanne und Zürich sowie grösstenteils für Biel als gut übertragbar eingeschätzt. Die Übertragbarkeit wird als bedingt angesehen für Luzern und St. Gallen, da hier Expresslinien teilweise enden und nur mittelgrosse RV-Systeme vorhanden sind. Hier wäre ähnlich wie im Musternetz eine vertiefte Untersuchung erforderlich. Eher nicht übertragbar sind die Erkenntnisse bezüglich Angebotsqualität auf die Knoten Basel und Genf im Wesentlichen auf Grund der wenigen durchgebundenen Linien im Expressverkehr, welche bei Knotenauflösung nicht von kurzen Haltezeiten profitieren. Die Übertragbarkeit auf kleinere und mittelgrosse Knoten ist auf Grund des geringen Optimierungspotenzials in solchen Knoten kaum gegeben: Die Standzeiten der oft wenigen durchfahrenden Linien sind bereits vergleichsweise kurz.

Bezüglich Wirkung auf die Infrastrukturanforderungen kann die Übertragbarkeit bei grösseren Knoten potenziell auch auf Basel erweitert werden: Eine Knotenauflösung könnte den Bedarf an Perrongleisen – falls Zugskompositionen ausgezogen und zugestellt werden können – reduzieren. Bei kleineren Knoten dürfte bezüglich Infrastrukturbedarf nur ein geringes Optimierungspotenzial bestehen, falls die für einen z.B. halbstündlichen Vollknoten erforderliche Infrastruktur bereits vorhanden ist und mit einer Taktverdichtung viertelstündlich genutzt werden kann.

Die Übertragbarkeit auf andere Netztypen (Netze des Regional- und Stadtverkehrs) ist aus den vorliegenden Ergebnissen nicht direkt ableitbar und nicht Gegenstand der Forschungsarbeit. In grösseren RV-Netzen wie Zürich oder Basel, für welche eine Übertragung ggf. in Frage käme, sind die mittleren Reisezeiten kürzer als im Expressverkehrs-Netz der Schweiz, womit die Umsteigezeit mehr ins Gewicht fällt. Zudem sind die vorhandenen Knoten auf Grund der kleinen Anzahl (durchfahrenden) Linien und bereits minimalen Haltezeiten nicht mit den Knoten des Expressverkehrs vergleichbar (z.B. Dietikon oder Wetzikon). Die zentralen Knoten dieser Netze (Zürich resp. Basel) sind im Übrigen aus Kapazitätsnutzungsgründen bereits aufgelöst. Der Anwendungsbereich für regionale Bahn/Bus-Knoten müsste vertieft werden, es ist hierbei tendenziell davon auszugehen, dass hier Vollknoten auch bei Takten von 15 Minuten weiterhin zweckmässig sind und ggf. die Anwendung einer Fliessband-Linie in Frage käme.

7.3.4 Vertiefungsbedarf

Die Konzeption und Beurteilung der Szenarien liefert verwertbare Erkenntnisse zur Wirkung einer (teilweisen) Knotenauflösung beim Angebot des Expressverkehrs. Dennoch sind aus der Bearbeitung weitere relevante und prüfenswerte Vertiefungspunkte hervorgegangen. Diese werden wie folgt gesehen:

- Planerische Umsetzung der drei Ansätze im nationalen Netz und Ermittlung sowie Vergleich der Wirkungen im gesamten ÖV-System (zuerst nur Ansätze für den Expressverkehr, dann auch Vertiefung mit Gesamtverkehr).
- Vertiefung möglicher Angebotsstrategien beim Ausdünnen von Angeboten bei Fliessband und aufgelöstem Knoten zur Minimierung negativer Effekte (Taktbrüchen etc.).

- Vertiefung der Wirkung auf die Robustheit (Betriebsstabilität und -qualität) aus Betreiber- und aus Kundensicht mit passenden Methoden für eine punktuelle und / oder netzweite Betrachtung.
- Vertiefung / Sensitivität der bisher mit 3 resp. 4 Produktekategorien ausgeplanten Konzepte mittels Reduktion der Anzahl Produkte auf z.B. 2 Kategorien.
- Betrachtung von Taktdichten von 15 Minuten und kürzer in einem Anwendungsfall mit kürzeren Reisedistanzen (z.B. in einem S-Bahn-Netz).
- Betrachtung einer infrastrukturzentrierten Stossrichtung: Wirkung eines Konzepts mit dem Ziel einer Vereinfachung der Infrastruktur in einem Netz mit hoher Taktdichte, aufgelösten Knoten und konsequenter Systematisierung des Angebots.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

8.1 Synthese aus den Ergebnissen der Forschungsarbeit

8.1.1 Übersicht Vorgehen

Zunächst sind die Ergebnisse aus den Fallbeispielen, den theoretischen Modellknoten sowie aus der Ausarbeitung und der Evaluation der Szenarien gegenübergestellt. Es werden übereinstimmende, sich widersprechende oder unklare bzw. nicht belastbare Erkenntnisse erörtert und daraus allgemeine Schlussfolgerungen gezogen sowie insbesondere die Anwendungsbereiche der Knotentypen abgeleitet. Im Anschluss erfolgt der Abgleich zwischen den Ergebnissen und den Forschungsthesen, um schliesslich die Empfehlungen zu möglichen Handlungsstrategien für das Bahnsystem, zur Planungsmethodik und zum verbleibenden Vertiefungsbedarf schliessen die Forschungsstudie ab.

8.1.2 Gegenüberstellung Fallbeispiele, Modellknoten und Szenarien

In der Folge werden – soweit möglich und sinnvoll – die Erkenntnisse aus den Fallbeispielen, den Modellknoten und den Szenarien einander gegenübergestellt.

Ein qualitativer Vergleich lässt sich bezüglich des Anwendungsbereichs anstellen (vgl. dazu auch Kapitel 8.1.4). Aus der Suche nach Fallbeispielen liegt kein Beispielnetz von Expressverkehren mit überwiegend 15-Minuten-Takten vor, bei welchem konsequent ausgebildete Vollknoten gebildet werden. Eine entsprechende Grenze bestätigt sich aus der Untersuchung der Modellknoten und der Anwendungsbeispiele: Die Angebotsqualität ist mit einer Knotenauflösung in der Summe gleichwertig, währendem potenzielle Vorteile bezüglich Kapazitätsnutzung und Ressourcen für den Betrieb bestehen.

Quantitative Vergleiche lassen sich für den Zeitverlust im Knoten für Durchfahrer und Umsteiger sowie für den Infrastrukturbedarf in Knoten anstellen. Entsprechende Werte aus den Fallbeispielen liegen nicht vor, bzw. diese wären auf Grund der sehr unterschiedlichen Voraussetzungen nicht vergleichbar.

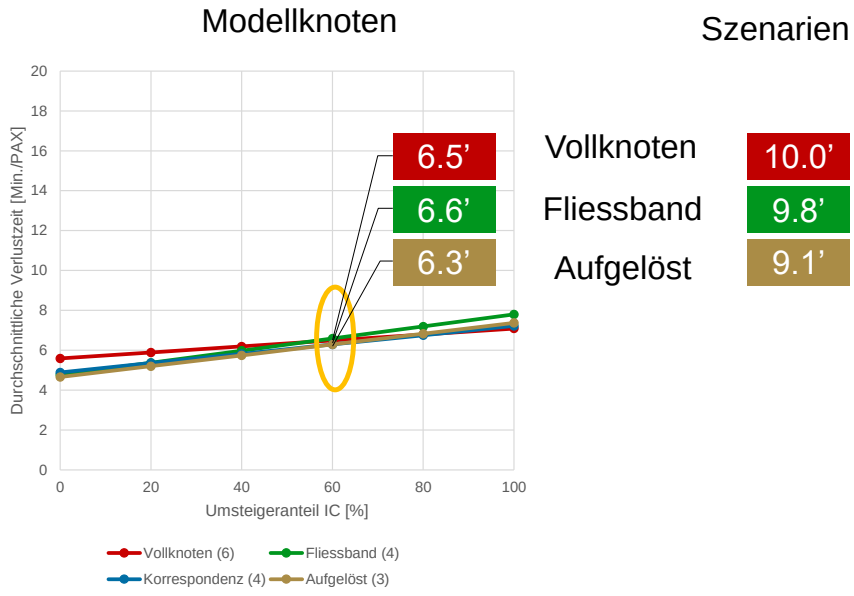


Abb.71 *Verlustzeit nach Knotentyp bei Modellknoten und Szenarien mit 15-Minuten-Takten*

Bezüglich Durchbindungen von Linien, insbesondere bei der S-Bahn, ist der Modellknoten III am ehesten mit dem Knoten Bern vergleichbar. Der Zeitverlust in Knoten hängt u.a. vom Umsteigeranteil ab. Dieser ist für die vertieften Szenarien ausgewertet und beträgt dort im Knoten Bern konstant rund 20% bezogen auf die Summe aller Ein-/Aus-/Umsteiger und Durchfahrer. Bezogen auf die Summe der Umsteiger und Durchfahrer beträgt der Anteil Umsteiger rund 60%. Im Szenario FB wird überdies eine «knotenoptimierte» Knotenstruktur angewendet. Schliesslich beträgt der Grundtakt in den vertieften Szenarien 15 Minuten. Für die Gegenüberstellung sind die entsprechenden Werte aus den Ergebnissen der Modellknoten zu betrachten, wobei die im Modellknoten erfolgte Gewichtung der Umsteiger gegenüber den Durchfahrern von 1.14 (vgl. Kapitel 0) zu berücksichtigen ist.

Die Unterschiede zwischen den Knotentypen sind beim Modellknoten vernachlässigbar (zwischen 6.3 und 6.6 Minuten), währendem die Szenarien eine Differenz auf insgesamt höherem Niveau von bis zu 10% (zwischen 9.1 und 10.0 Minuten) aufweisen. Die grösseren absoluten Verlustzeiten lassen sich durch die in den Szenarien grössere Anzahl Linien sowie die nicht idealen Voraussetzungen und die zusätzlichen Restriktionen erklären. Beim Vollknoten und beim Fliessbandknoten scheint sich dies ausserdem ausgeprägter auszuwirken.

Die Anzahl der benötigten Gleise lässt sich zwischen Modellknoten und Szenarien nur vergleichen, indem sie in Relation mit der Anzahl Züge gesetzt wird. Beim zu vergleichenden Modellknoten verkehren insgesamt 40 Züge pro Stunde (Summe beider Richtungen, alle durchgebunden), bei den Szenarien sind es 64 durchgebundene Züge pro Stunde (davon 8 im Bahnhof wendende) sowie 32 endende und beginnende Züge (davon teils Wenden mit Ausziehen, teils Wenden am Perron). Damit ergibt sich das Bild gemäss Tab. 39[1]:

Tab. 39 *Vergleich Anzahl Perrongleise pro verkehrendem Zug*

	Vollknoten	**Fliessband**	**Aufgelöster Knoten**
Modellknoten Typ III	0.15	0.10	0.08
Szenarien	0.17	0.16	0.16

Beim Vollknoten ist der ermittelte Gleisbedarf bei Modellknoten und Szenarien ähnlich gross. Währendem im Modell mit Fliessband und Knotenauflösung eine Reduktion der Gleise zu erzielen ist, kann dies bei der praktischen Anwendung mit weniger idealen Voraussetzungen nur ansatzweise umgesetzt werden.

Es lässt sich zusammenfassen, dass sich die Ergebnisse der Untersuchung der Verlustzeiten der Fahrgäste im Knoten aus Modell (vergleichbar ist Typ III) und Umsetzung in den Szenarien decken: Es bestehen keine oder geringfügige Unterschiede zwischen den Knotentypen des Expressverkehrs bei einem System mit 15-Minuten-Takten. Die im aufgelösten Modellknoten ausgewiesenen Einsparungen bei der Gleiszahl ist im ausgeplanten Szenario nur in der Tendenz erkennbar.

8.1.3 Schlussfolgerungen

Folgende Schlussfolgerungen können aus den Erkenntnissen der Forschungsarbeit gezogen werden:

- Das Auflösen von Vollknoten des Fernverkehrs in grösseren Knoten ist bei 15-Minuten-Takten grundsätzlich prüfenswert: Die Angebotsqualität ist über alle Verbindungen gesehen gegenüber einem Vollknoten etwa gleichwertig, wobei jedoch potenziell weniger Infrastrukturmassnahmen nötig werden.
- Die Wirkung auf die Angebotsqualität kann wie folgt differenziert werden: Durchgebundene Verbindungen profitieren von kürzeren Aufenthaltszeiten, einzelne Umsteigever-

[1] Gleisabschnitte werden als separates Gleis gezählt. Gleise nur für GV werden nicht gezählt.

bindungen können sich jedoch auch verlangsamen. Entsprechend sind die nachfragestärksten Verbindungen durchzubinden und weitere nachfragestarke Relationen weiterhin mit einem kurzen Anschluss zu planen.

- Bei einer Knotenauflösung ist darauf zu achten, dass die Ausdünnung des Angebots in Randstunden nicht zu einer Verschlechterung der Transportketten führt.
- Zudem ist in der Planung auf die Qualität der Güterverkehrstrassen zu achten, resp. diesen eine hohe Priorität einzuräumen.
- Ein potenziell reduzierter Infrastrukturbedarf entsteht sowohl im Knoten, im Wesentlichen durch die kürzeren Standzeiten, als auch auf Strecken durch die grösseren Freiheitsgrade bei der Trassenplanung.
- Die im Rahmen der Forschungsarbeit gewonnen Erkenntnisse beinhalten eine «eingeschränkte Sicht» auf einen singulären Knoten resp. auf ein Musternetz mit einem Grossknoten. Eine Aussage für das nationale Netz kann nur mit einer entsprechenden Erweiterung des Betrachtungsperimeters geprüft werden. Es empfiehlt sich zudem eine Mitbetrachtung des «untergeordneten» ÖV-Angebots.

8.1.4 Anwendungsbereiche Knotentypen

Die Anwendungsbereiche für die drei Knotentypen Vollknoten, Fliessband und Knoten aufgelöst werden wie folgt gesehen:

Tab. 40 *Anwendungsbereiche Knotentypen*

Kriterium	Vollknoten	Fliessband	Knoten aufgelöst
Taktdichte Expressverkehr	≥ 15’ unterschiedliche Taktdichten	15-Minuten-Takt Fliessband-Linie 15’-, 30’-, 60’-Takt übrige Linien	≤ 15’
Anzahl Linien Expressverkehr	Kleine Anzahl, so dass keine Überlappung Ein-/Ausfahrten	Eine Fliessband-Linie, übrige variabel	Grosse Anzahl
Betriebszeiten	Variable Taktdichte im Tagesgang, Ausdünnung v.a. durch Entfall von Taktlagen	Fliessband-Linie überwiegend unverändert über Betriebszeit, übrige variabel im Tagesgang	Variable Taktdichte im Tagesgang, Ausdünnung jedoch netzweit zu prüfen
RV-Angebot	Grossknoten mit zahlreichen RV-Linien: RV eher nicht knotenintegriert; kleine und mittlere Knoten: RV eher knotenintegriert	dito Vollknoten; auch RV-Linie kann Fliessband-Line sein	Für Grossknoten mit zahlreichen RV-Linien geeignet (RV hier oft bereits aufgelöst)
Knotengrösse	v.a. bei kleinere und mittleren Knoten	alle, sofern Fliessband-Linie im 15-Minuten-Takt	v.a. bei grösseren Knoten
Infrastruktur	Bei bereits für Knoten ausgebauter Infrastruktur und noch keiner Überlappung viertelstündlicher Spinnen	Bei bereits für Knoten ausgebauter Infrastruktur und zur Vermeidung Erweiterung Knoteninfrastruktur	Zur Vermeidung grösserer Erweiterungen der Knoteninfrastruktur und der Zufahrten
Güterverkehr	Tendenziell günstig für Trassierung GV auf Strecke (Knotenausfahrt: Express->Güter->Regional-Verkehr, bedingt jedoch Durchfahrt GV während Knotenzeit, falls kein Bypass)	Potenziell Beeinträchtigung der Trassierbarkeit, da Fenster zwischen Personenverkehr verkleinert	Potenziell Beeinträchtigung der Trassierbarkeit, da Verteilung Personenverkehr die Fenster für GV verkleinert

Falls eine Knotenauflösung geplant wird, tragen folgende Planungsgrundsätze zu einem hohen Nutzen bei:

- Die höhere Flexibilität bei der Angebotsgestaltung wird für die Optimierung des Infrastrukturbedarfs und der Spitzenbelastungen in Knoten genutzt.
- Es werden konsequent 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.
- Die Konzeption von Randstunden erfolgt gleichzeitig zum Systemangebot.

Bei einer Umsetzung einer Fliessband-Linie sind folgende Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Fliessband-Linie weist eine hohe Zahl an Durchfahrern auf und verkehrt weitgehend über alle Verkehrszeiten und auf beiden Linienästen im 15-Minuten-Takt
- Die übrigen Linien verkehren in einem verschlankten Knoten (kürzere Standzeiten)

Zu beachten ist immer die Angebotsqualität resp. die Gesamtwirkung (inkl. Infrastruktur, Betrieb) im ganzen Netz, da sich positive Effekte im betrachteten Knoten im Nachbarknoten / Netz negativ auswirken könnten.

8.1.5 Abgleich Forschungsthesen

Die eingangs aufgestellten Thesen (vgl. Kapitel 2.4) können anhand der vorliegenden Ergebnisse wie folgt eingeschätzt werden:

These 1:

Bei einer dichten Taktfolge können Vollknoten aufgelöst werden, wobei sich die netzweiten Reisezeiten nicht verlängern, sondern bestenfalls verkürzen: Die Standzeit von durchfahrenden Zügen lässt sich reduzieren, da das Abwarten von Anschlüssen und die Staffelung der Ein- und Ausfahrten der Züge entfällt.

Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit: Der Wirkungszusammenhang bestätigt sich sowohl im theoretischen Modell als auch in den Anwendungsbeispielen: je dichter der Takt ist, desto mehr Vorteile weist eine Knotenauflösung auf. Standzeiten lassen sich reduzieren und die netzweiten Reisezeiten ab einem bestimmten Takt verkürzen. Bei grösseren Knoten des Expressverkehrs ist eine Auflösung ab einem vorherrschenden Takt der Linien des Expressverkehrs von 15 Minuten bezüglich netzweiten Reisezeiten einem Vollknoten ebenbürtig.

These 2:

Der Entfall der Randbedingung, Anschlüsse sicherzustellen, erhöht den Freiheitsgrad bei der Fahrplanerstellung und reduziert den Bedarf für Infrastrukturausbauten.

Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit: Diese These hat sich für Takte von 15 Minuten und weniger bestätigt: Im Fall des untersuchten Knotens konnte durch Ausnutzung höherer Freiheitsgrade bei der Fahrplangestaltung mit Knotenauflösung dasselbe Mengengerüst mit weniger Infrastrukturbedarf eingeplant werden, dies sowohl im Knoten selbst als auch auf den Zulaufstrecken. Eine dabei auftretende leicht tiefere Qualität der Güterverkehrs-Trassen müsste ggf. jedoch mit zusätzlichen Infrastrukturmassnahmen korrigiert werden.

These 3:

Das Auflösen von Vollknoten reduziert die Spitzenbelastungen von Publikumsanlagen und Gleisanlagen in Bahnhöfen (Knoten) und somit auch den Ausbaubedarf. Durch gleichmässigere Auslastung ist ausserdem ein Kapazitätsgewinn zu erwarten.

Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit: Die Spitzenbelastung von Gleisanlagen in Bahnhöfen kann mit der Knotenauflösung reduziert werden. Potenziell wären entstehende Restkapazitäten für zusätzliche Trassen nutzbar (bei ausreichender Kapazität der Zufahrten). Die Spitzenbelastung der Publikumsanlagen hängt jedoch stark von überlagerten Ankünften / Abfahrten auf Grund des konkreten Fahrplankonzepts ab, und ist nicht direkt abhängig vom gewählten Knotentyp.

These 4:

Eine Auflösung von Knoten erhöht die netzweite Betriebsstabilität, u.a. durch Entfall des Zwangs, Anschlüsse abzuwarten und durch eine gleichmässigere Auslastung des Netzes.

Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit: Diese These konnte im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nicht belastbar untersucht werden, da die Quantifizierung aller relevanten und z.T. gegenläufiger Einflüsse auf die Stabilität den Umfang der Arbeit übersteigt. Mit Knotenauflösung können einzelne Netzelemente tatsächlich gleichmässiger ausgelastet werden (z.B. NBS Mattstetten – Rothrist), allerdings dürften die kürzeren Haltezeiten (weniger Reserven) einen negativen Effekt auf die Stabilität haben. Die resultierende Gesamtwirkung auf die Stabilität kann nur in einer Vertiefung ermittelt werden.

8.1.6 Beiträge zu übergeordneten Zielen

Die Ansätze für die Knotenausgestaltung wirken sich auf die übergeordneten Ziele aus (vgl. Kapitel 2.3.1). Den Zielen sind die ausgewerteten Indikatoren gemäss AS 1 zugeordnet, womit aus den Wirkungen der Indikatoren die Zielerreichung abgeleitet werden kann. Im Grundsatz lässt sich sagen, dass sich mit einem künftigen Schritt hin zu 15-Minuten-Takten beim Expressverkehr keine markanten Unterschiede bei der Zielerreichung aus der Knotenausgestaltung ergeben. Die entsprechende Zielerreichung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Ziel 1: «Der ÖV ist als Teil der Gesamtmobilität attraktiv»

Das Knotensystem mit Vollknoten, Richtungsknoten und Korrespondenzen wurde u.a. als Beitrag für die Erreichung dieses Ziels eingeführt, kontinuierlich weiterentwickelt und ist auch bei einer Taktverdichtung auf 15 Minuten weiterhin zielführend. Im Vergleich dazu trägt ein Fliessbandsystem oder eine Auflösung von dafür geeigneten Knoten wegen der leicht besseren Angebotsqualität beim Personenverkehr grundsätzlich potenziell positiv, auf Grund der tieferen Qualität der Trassen für den Güterverkehr jedoch negativ zur Zielerreichung bei.

Ziel 2: «Der ÖV unterstützt die wirtschaftliche Entwicklung der Schweiz und nutzt die technologische Entwicklung, abgestimmt auf Raumordnung und andere Verkehrsträger.»

Bezüglich Abstimmung bzw. Kompatibilität mit der Raumordnung, anderen Verkehrsträgern bzw. neuen Mobilitätsformen bestehen keine relevanten Unterschiede der Beiträge zur Zielerreichung. Einzig der geringere Infrastrukturbedarf bei Auflösung geeigneter Knoten trägt auf Grund tieferer Kosten zu einer besseren Gesamtwirtschaftlichkeit der Bahn bei.

Ziel 3: «Der öV ist sicher und wahrt seinen Umweltvorteil».

Auch hier sind die Unterschiede der Beiträge zur Zielerreichung unterschiedlicher Knotentypen bei einer Taktverdichtung klein. Ein Mehrbeitrag zum Umweltvorteil des öV bei einer Knotenauflösung auf Grund einem potenziell geringeren Flächenverbrauch (durch weniger Infrastrukturbedarf auf der Strecke) steht einer reduzierten Attraktivität auf Grund geringerer Trassenqualität für den Güterverkehr gegenüber.

Ziel 4: «Der ÖV ist langfristig finanziert und effizient».

Der Beitrag zur Zielerreichung ist bei einer Taktverdichtung mit einer Auflösung geeigneter Knoten auf Grund des potenziell geringeren Ressourcenbedarfs bei den EVU und des geringen Investitionsbedarfs in die Infrastruktur gegenüber dem Vollknoten höher. Kleiner als bei Vollknoten ist der Beitrag zur Zielerreichung bei Knotenauflösung jedoch durch die potenziell geringere Effizienz beim Güterverkehr auf Grund einer tieferen Trassenqualität.

8.2 Empfehlungen

8.2.1 Mögliche Handlungsstrategien Bahnsystem

Bei einer Verdichtung des Expressverkehrs auf 15-Minuten-Takte ist die Fortführung und Weiterentwicklung des Knotensystems mit ausgeprägten Vollknoten weiterhin ein zweckmässiger Weg.

Die Auflösung von Vollknoten und ein Fliessband-Prinzip in dafür geeigneten Knoten sind zusätzliche und vertieft zu prüfende Optionen bei der Konzeption der künftigen Struktur des Expressangebots. Dies gilt insbesondere, wenn folgenden Bedingungen gegeben sind:

- Die Knotenauflösung oder das Fliessband-Prinzip in einem Knoten beeinflusst die netzweiten Reiseketten inkl. Regionalverkehr und nachgelagertem ÖV nicht negativ.
- Die 15-Minuten-Takte des Expressverkehrs sind für die Mehrheit der Linien im betroffenen Knoten vorgesehen (einzelne Ausnahmen mit 30-Minuten-Takt möglich).
- Die 15-Minuten-Takte des Expressverkehrs werden über den grössten Teil der Betriebszeit aufrechterhalten oder es bestehen attraktive Konzepte für die Randstunden, auf welche weitgehend ohne Taktbrüche gewechselt werden kann (somit Berücksichtigung im Konzept der Normalverkehrszeit erforderlich).
- Das Angebot des Regionalverkehrs mit Bezug zum entsprechenden Knoten ist mindestens ebenso dicht getaktet und ggf. bereits nicht in den Vollknoten integriert.
- Es stehen hohe Investitionen in die Knoteninfrastruktur wie z.B. zusätzliche Perrongleise und / oder Ausbau der Zufahrtsstrecken an.

8.2.2 Methodik der Planung

Für die Planungsmethodik in der Bahnsystemplanung können basierend auf den vorliegenden Ergebnissen folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Bei einer Angebotsverdichtung des Expressverkehrs auf 15-Minuten-Takte sind neben der Weiterentwicklung des Knotensystems auch alternative Angebotsansätze im Sinne eines Wettbewerbs der Ideen prüfenswert.
- Die Betrachtung und der Vergleich von Varianten mit / ohne Knotenauflösung resp. mit einer Fliessband-Linie sollte in Betracht gezogen werden, falls der geeignete Anwendungsbereich gegeben ist. Die Varianten können zuerst je Knoten geprüft und im Anschluss netzweit ausgeplant und optimiert werden. Die variantenspezifischen Vorteile sind gezielt auszunutzen.
- Vergleiche zwischen den Konzepten sollen neben Angebotskriterien auch Infrastruktur und den Bahnbetrieb (insbesondere Kosten und Stabilität) berücksichtigten, da die Stärken / Schwächen der Ansätze in unterschiedlichen Bereichen liegen (Betrachtung Gesamtsystem Bahn).
- Bei einer Knotenauflösung in grösseren Knoten sind gleichzeitig die Anschlüsse in peripheren resp. kleineren Knoten zu optimieren und bereits in einem frühen Zeitpunkt des Planungsprozesses zu beachten.
- Randstundenkonzepte sollen bei Anwendung von Fliessbandsystemen oder aufgelösten Knoten bereits zu einem frühen Zeitpunkt mitkonzipiert und in den Vergleich miteinbezogen werden.
- Der Güterverkehr ist zur Vermeidung von Qualitätseinbussen der Trassen bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Planungsprozesses zu berücksichtigen.

8.2.3 Weiterer Forschungsbedarf

In den Schlussfolgerungen zu den Szenarien und deren Wirkungsbeurteilung wird der diesbezügliche Vertiefungsbedarf bereits aufgezeigt (vgl. Kapitel 7.3.4). Im Wesentlichen ist eine netzweite Betrachtung des im Rahmen dieser Arbeit nur ausschnittsweise betrachteten Musternetzes angezeigt. Ergänzend sollten hierbei auch Varianten mit unterschiedlichem Fokus verglichen werden:

- Netzweite Konzeption mit höherer Priorisierung der Trassierung des Güterverkehrs.
- Netzweite Konzeption mit einem Fokus auf die Minimierung und / oder Vereinfachung der Infrastruktur bei hoher Taktdichte, aufgelösten Knoten und konsequenter Systematisierung des Angebots.
- Netzweite Konzeption mit einer Reduktion der Anzahl Produktekategorien des Personenverkehrs auf zwei Kategorien.
- Betrachtung von kürzeren Taktdichten als 15 Minuten, insbesondere bei Netzen mit kürzeren Reisedauern (z.B. regionale Netze mit integriertem Angebot Bahn und Bus)

Bezüglich der Wirkungsbeurteilung wird Vertiefungsbedarf in folgenden Themenfeldern gesehen:

- Quantitative und netzweite Beurteilung unterschiedlicher Knotentypen auf die Betriebsstabilität beziehungsweise aus Kundensicht auf die Zuverlässigkeit (Pünktlichkeit).
- Angebotsstrategien beim Ausdünnen von hohen Taktdichten in Randstunden, insbesondere bei aufgelösten Knoten.
- Ermittlung der Reisezeitwirkung unter Einbezug des untergeordneten ÖV-Systems.

Anhänge

I Steckbriefe Fallbeispiele 94
I.1 Fernverkehr Schweiz 94
I.2 Niederlande 96
I.3 Integraler Taktfahrplan (ITF) in Nordrhein-Westfalen (NRW) 98
I.4 Bahnnetz Japan / Region JR East 100
I.5 RegioTram Kassel 102
I.6 Korrespondenzknoten Arth-Goldau und Mannheim 104

II Auswertungen theoretische Modellknoten 106
II.1 knotenoptimiert / 1.0 / 1.0 / 3 107
II.2 knotenoptimiert / 1.32 / 1.0 / 3 108
II.3 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3 109
II.4 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 5 110
II.5 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 3 111
II.6 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 5 112
II.7 streckenfixiert / 1.32 / 1.0 / 3 113
II.8 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 3 114
II.9 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 5 115
II.10 Modell II / 1.32 / 1.14 / 3 116
II.11 Modell III / 1.32 / 1.14 / 5 117

III Dokumentation Szenarien 118
III.1 Netzgrafik Szenario AS35 ergänzt 119
III.2 Netzgrafik Szenario 15/30-FB 120
III.3 Netzgrafik Szenario 15/30-AG 121
III.4 Netzgrafik Szenario 15/15-VK 122
III.5 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-VK 123
III.6 Netzgrafik Szenario 15/15-FB 124
III.7 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-FB 125
III.8 Netzgrafik Szenario 15/15-AG 126
III.9 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-AG 127

I Steckbriefe Fallbeispiele

I.1 Fernverkehr Schweiz

Fallbeispiel Fernverkehr Schweiz

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Im schweizerischen Fernverkehr besteht ein integrierter Taktfahrplan seit 1982. Zu Beginn verkehrten auf vielen Linien die Züge nur in einem 2h-Takt, dennoch gab es bereits da bei den wichtigen Umsteigepunkten gute Taktknoten. Durch Angebotserweiterungen wurde das System über die vergangenen 35 Jahre stetig ausgebaut und es konnten damit teilweise auch weitere gute Taktknoten gebildet werden. Mit der «Bahn 2000» wurde die Planungsstrategie so geändert, das zuerst das Angebot definiert wird und anschliessend daraus abgeleitet die Infrastrukturmassnahmen. Damit wurde mit «Bahn2000» die Fahrzeit zwischen einzelnen Knoten so verkürzt, dass einzelne Taktknoten um 15 Minuten gedreht werden konnten und sich die Anschlüsse dadurch verbesserten. In der Zukunft werden mit dem Ausbauschritt 2035 (AS 2035) auf einzelnen Strecken 15-Minuten-Takte eingeführt.

Charakterisierung des Systems

Takte: Der Eisenbahn-Fernverkehr in der Schweiz basiert hauptsächlich auf einem System im Stundentakt, welches durch Überlagerung zweier Linien auf vielen nachfragestarken Relationen zum exakten oder angenäherten 30-Minuten-Takt verdichtet wird.

Knotentypen: In den wichtigsten Knotenbahnhöfen bestehen Vollknoten zu den Minuten 00/30 oder Richtungsknoten zu den Minuten 15/45. Wo 30-Minuten-Takte vorliegen, besteht auch zu den Minuten 15/45 ein Vollknoten. Der Regionalverkehr dient an diesen Knoten dem Fernverkehr als Zubringer und verkehrt in grösseren Ballungsräumen im 30-Minuten-Takt (selten 15-Minuten-Takt), anderenorts im Stundentakt. In kleineren bis mittleren Knoten sind die Linien des Regional-verkehrs in die Knotenstruktur des Fernverkehrs eingebunden, um schlanke Anschlüsse zwischen Regional- und Fernverkehr anzubieten. In grösseren Knoten (z.B. Zürich und Bern) ist dies in der Regel nicht der Fall, sondern diese Züge sind mit minimalen Haltezeiten auf verschiedene Linienäste durchgebunden.

Produktkategorien: Der Fernverkehr ist in 3 Produktkategorien (IC, IR und RE) gegliedert, wobei pro Streckenabschnitt in der Regel maximal 2 verschiedene Produktkategorien anzutreffen sind.

Durchbindungen: Die Fernverkehrszüge sind in den meisten Knoten durchgebunden, um möglichst viele Direkt-verbindungen anzubieten. Die Haltezeit ist dabei jedoch oft wesentlich länger, als minimal erforderlich, damit Anschlüsse aus allen Richtungen abgenommen werden können.

Infrastruktur: Um die Umsteige- und Haltezeiten in den Knoten möglichst gering zu halten, sind die Zugfolgezeiten zu den grossen Knoten möglichst kurz (i.d.R. 2'), es gibt teilweise vierspurige Zufahrten mit Entflechtungsbauwerken. In den Knoten stehen viele Bahnsteigkanten zur Verfügung.

Kennzahlen *(Quelle: Schweizer Eisenbahnrevue 8-9/2017)*

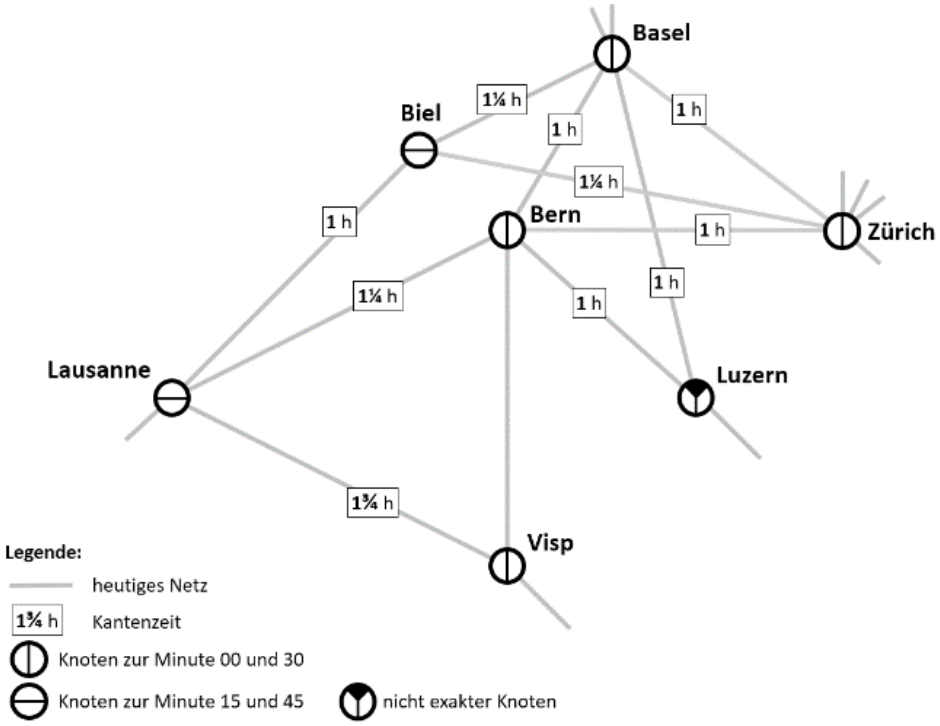
	1982	**2016**	**Veränderung**
Bevölkerung Schweiz [Mio. Einwohner]	6.4	8.4	+31%
Verkehrsanteil Bahn (Personenkilometer)	12%	19%	+54%
Personenkilometer Bahn [Mrd. Pkm]	10.31	20.39	+98%
Eisenbahnpersonal	47'105	36'112	-23%
Pkm pro Personal [Tausend Pkm/Angestellter]	218	564	+158%
Pkm pro Streckenkilometer [Mio. Pkm/km]	2.02	3.83	+89%

Schlussfolgerung

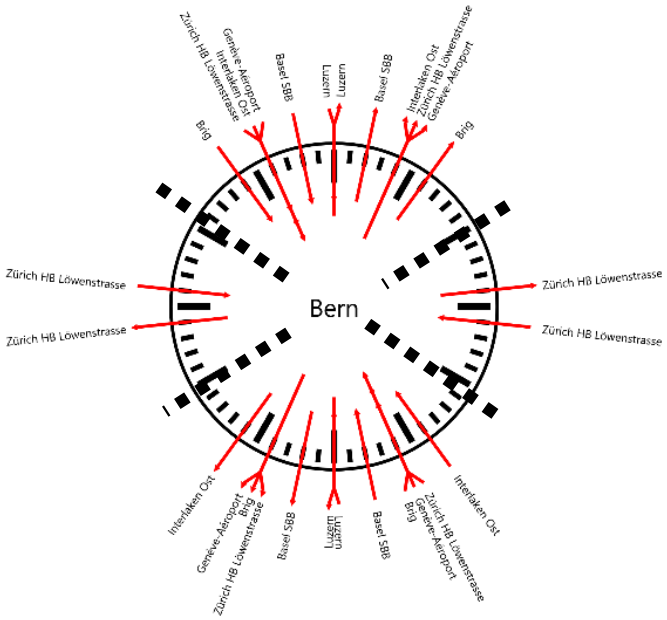
Obwohl mit dem AS 2035 auf einzelnen Strecken 15-Minuten-Takte eingeführt werden, bleiben die Knotenstrukturen in den grossen Knoten erhalten. Da weiterhin viele 30-Minuten-Takte bestehen bleiben, können nur so schlanke Anschlüsse im ganzen Fernverkehrsnetz gewährt werden. Zahlreiche Knoten (z.B. Lausanne, Bern) werden bereits mit AS25 erheblich ausgebaut, um die Vollknoten trotz der Angebotsausbauten zu erhalten.

Fallbeispiel Fernverkehr Schweiz

Kantenzeiten



Beispiel Vollknoten



I.2 Niederlande

Fallbeispiel Niederlande

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Die Niederländischen Eisenbahnen (NS) haben im Jahr 1970 einen integrierten Taktfahrplan eingeführt (ITF). Mit der Einführung von einem integralen Stundentakt ist damals das nationale Angebot in einem Schritt rund 40% gewachsen. Die Anschlüsse wurden optimiert durch die Erhöhung von Frequenzen, die Gestaltung des Fahrplans und begrenzte Infrastrukturmassnahmen (vor allem Geschwindigkeitserhöhungen).

Die Struktur des Intercity-Angebots hat sich seitdem nicht mehr wesentlich geändert, da sich die Entwicklung des Angebots seit Jahrzehnten vor allem auf Taktverdichtungen statt auf die Einführung neuer Verbindungen konzentriert: Es existieren 6 radiale Korridore, welche den Ballungsraum im Westen des Landes (im Folgenden als Randstad bezeichnet) mit den übrigen Regionen verbindet. Nur ein tangentialer Korridor führt nicht via Randstad (IJssellijn).

Charakterisierung des Systems

Takte: Der Eisenbahn-Fernverkehr in den Niederlanden basiert hauptsächlich auf einem System von Halbstundentakten, welches durch Überlagerung zweier Linien auf den meisten Relationen zum exakten oder angenäherten 15-Minuten-Takt verdichtet wird. Auf den radialen Korridoren werden Grundtakte überlagert, was direkte Verbindungen, aber auch eine hohe Verbindungsdichte ermöglicht. Der 15-Minuten-Takt ist seit einigen Jahren auf den radialen Korridoren Standard, wobei vereinzelt noch 30-Minuten-Takte angeboten werden. Derzeit werden 10'-Takte auf verschiedenen radialen Korridoren in Betrieb genommen, wobei auch dies mittels Überlagerung von Linien realisiert wird. Beim Übergang von 15'- auf 10'-Takte entstehen teilweise verlängerte Haltezeiten oder leicht hinkende Takte.

Knotentypen: Die wichtigen Taktknoten sind zum einen die Bahnhöfe, an welchen die IJssellijn die radialen Korridore kreuzt und zum anderen die äusseren Knoten im Randstad, an welchen gute Verbindungen (direkt oder mit Umstieg) sowohl in den Südteil als auch in den Nordteil der Randstad bestehen (wie zum Beispiel Amersfoort).

Die Anschlusskonten befinden sich ausserhalb der Randstad an der IJssellijn, auf welcher die Angebotsdichte am tiefsten ist (30-Minuten-Takt). Vollknoten stellen dabei eher eine Ausnahme dar, es bestehen aber häufig Richtungsknoten mit guten Anschlüssen für die grössten Fahrgastströme. Innerhalb der Randstad hat die grosse Angebotsdichte dazu geführt, dass die Taktknoten aufgehoben wurden (Utrecht, Rotterdam).

Produktkategorien: Es bestehen die zwei Produktkategorien IC und «Sprinter» (bedienet alle Halte, Haltestellenabstände sind relativ gross).

Durchbindungen: Für eine hohe Anzahl Direktverbindungen werden die meisten 15-Minuten-Takte aus zwei überlagerten 30-Minuten-Takten gebildet, was vereinzelt leicht verlängerte Haltezeiten zur Synchronisation erfordert oder hinkende Takte ergibt.

Infrastruktur: Die Infrastruktur erlaubt Zugfolgezeiten von 3 Minuten. Für die alternierenden Direktverbindungen, wurden zahlreiche Überwerfungen (teilweise mit voller Flexibilität) realisiert. Auf eine ungerade Anzahl Gleise wird systematisch verzichtet: Eingleisigkeiten werden daher grundsätzlich eher auf Doppelspur ausgebaut statt neue Kreuzungsmöglichkeiten zu erstellen. Stark belastete Korridore werden auf 4 Gleise ausgebaut.

Kennzahlen *(Quellen: KiM, CBS, Wikipedia, Statline)*

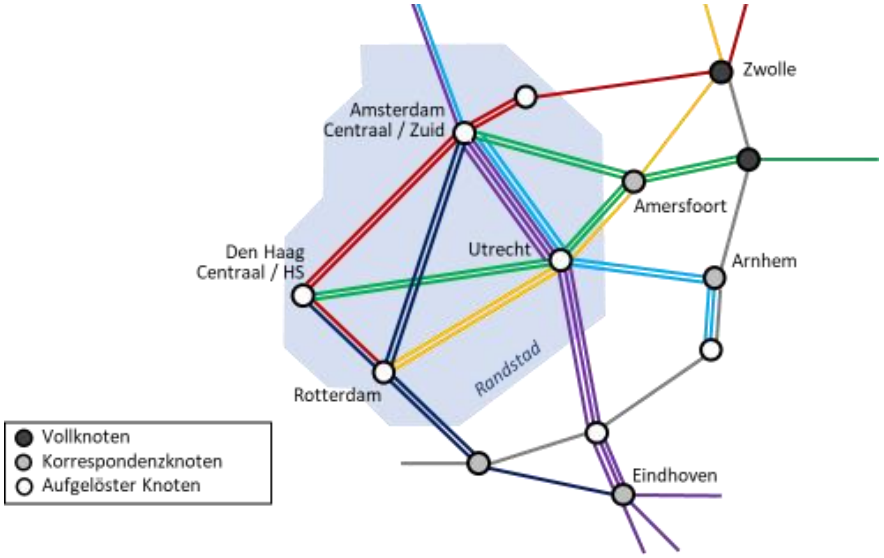
	2005	2017	Veränderung
Bevölkerung [Mio. Einwohner]	16.3	17.1	+5%
Verkehrsanteil Bahn (Personenkilometer)	8%	10%	+21%
Personenkilometer Bahn [Mrd. Pkm]	15.2	19.0	+25%
Pünktlichkeit (nur NS, 3 min. Norm)	84.7%	90.5%	+7%
Zugausfälle (nur NS)	2%	2.3%	+15%
Pkm pro Streckenkilometer [Mio. Pkm/km]	2.9	3.2	+10%

Schlussfolgerung

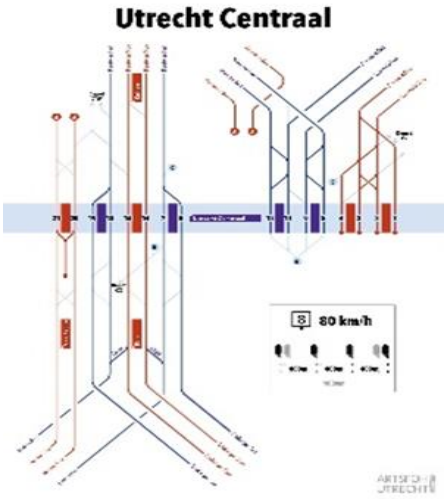
Bei den hohen Frequenzen von mindestens 4 Zügen pro Stunde sind akzeptable Anschlüsse auch ohne Vollknoten möglich. Die wichtigsten Verbindungen werden mit bahnsteiggleichen Anschlüssen angeboten, was Angebot und Infrastruktur stark voneinander abhängig macht. Die neu eingeführten 10'-Takte bringen einige Schwierigkeiten bei der Kombination mit bestehenden 15'- und 30-Minuten-Takten mit sich: Bei der Überlagerung der Takte und bei der Ausdünnung des Angebots in Nebenverkehrszeiten.

Fallbeispiel Niederlande

Struktur IC Netz NS, vereinfacht, ohne internationalen Verkehr (*Quelle: sma)*



Topologie Bahnhof Utrecht *(Quelle: Wikipedia)*



I.3 Integraler Taktfahrplan (ITF) in Nordrhein-Westfalen (NRW)

Fallbeispiel Integraler Taktfahrplan (ITF) in Nordrhein-Westfalen (NRW)

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Der ITF in NRW ist auf eine polyzentrische Metropolregion ausgerichtet und besteht vor allem im Ballungsraum aus einer Stammstrecken-Struktur, die keine Taktknoten aufweist. Im eher ländlich geprägten Umland hingegen gibt es ITF-typische Vollknoten (z.B. in Münster Hbf).

In NRW werden schnelle Verbindungen neben dem Fernverkehr durch Regional-Express-Züge (RE) hergestellt. Seit der Einführung des ITF 1 im Jahr 2000 wurde das Angebot kontinuierlich ausgebaut. Die Achse Köln – Düsseldorf – Duisburg – Dortmund (– Hamm) ist dabei von besonderer Bedeutung, da sie die grössten Städte des Landes miteinander verbindet. Dort besteht das dichteste Angebot und mit dem Projekt Rhein-Ruhr-Express (RRX) soll dieses zukünftig deutlich ausgebaut und systematisiert werden. Die Konzepte haben zwei wesentliche Infrastrukturengpässe im Netz zu berücksichtigen: Neben dem RRX-Korridor stellt der Knoten Köln einen massgebenden Engpass in NRW dar.

Charakterisierung des Systems

Produktkategorien: Der Regionalverkehr in NRW besteht aus schnellen RE-Linien, welche i.d.R. lange Laufwege aufweisen und nur die wichtigsten Halte bedienen sowie Regionalbahnen (RB), welche ausserhalb des S-Bahn-Netzes überall halten. Im Ballungsraum verkehrt die S-Bahn i.d.R. auf eigener Infrastruktur. Der Fernverkehr (ICE, IC, THA, FLX) hält nur an den grossen Knotenbahnhöfen und ist deutschlandweit sowie international durchgebunden.

Takte: Heute besteht der ITF NRW im Ballungsraum aus stündlichen Linien, welche sich zu dichteren Takten überlagern. Der Fernverkehr verkehrt teilweise auch mit Einzelzügen, welche nur wenige Male pro Tag verkehren. Ausserhalb des Kernbereichs teilen sich einzelne Stundentakte auch in 2h-Takte auf. Aufgrund der Restriktionen der Infrastruktur bilden die RE-Linien zwischen Dortmund und Düsseldorf derzeit nur einen 20'-Takt und zwischen Düsseldorf und Köln einen 20'/40'-Takt. Die S-Bahn, als Zubringerverkehr zum Fernverkehr, verkehrt typischerweise im 15'/30-Minuten-Takt oder im 20'-Takt.

Knotentypen: Im Kernnetz bestehen nur aufgelöste Knoten (entsprechend Stammstrecken-Struktur). Die Kapazitäten der Knoten und Zulaufstrecken lassen eine Knotenbildung nicht zu. Etwas ausserhalb des Kernnetzes (deutlich tiefere Zugzahlen) existieren teilweise Vollknoten (z.B. Münster).

Infrastruktur: Für die S-Bahn sowie den Güterverkehr besteht im Kernnetz eine eigene Infrastruktur. Der Fernverkehr sowie der schnelle Regionalverkehr teilen sich hingegen die Strecken. Aufgrund der Geschwindigkeitsunterschiede kommt es dabei allerdings zu einem höheren Kapazitätsverbrauch und Angebotsausweitungen sind auf dem RRX-Korridor nicht mehr möglich.

Ausbaupläne für das RRX-Konzept: Das RRX-Konzept sieht einen Infrastrukturausbau vor, der RE-Verkehre auf der Basis von systematischen 15-Minuten-Takten erlaubt. Dabei entsteht ein mehrgleisiger Überholabschnitt, in dem die RRX-Züge vom Fernverkehr überholt werden. Dadurch entstehen im RRX-Korridor 12 Systemtrassen je Stunde (4 x RRX und 8 x Fernverkehr). Zudem werden RB- und RE-Linien, welche nicht den gesamten RRX-Korridor befahren auf die S-Bahn-Strecken verlagert, welche durch punktuelle Infrastrukturmassnahmen höhere Kapazitäten erlangen.

Kennzahlen *(Stand 2019, Quellen: VDV Statistik 2017)*

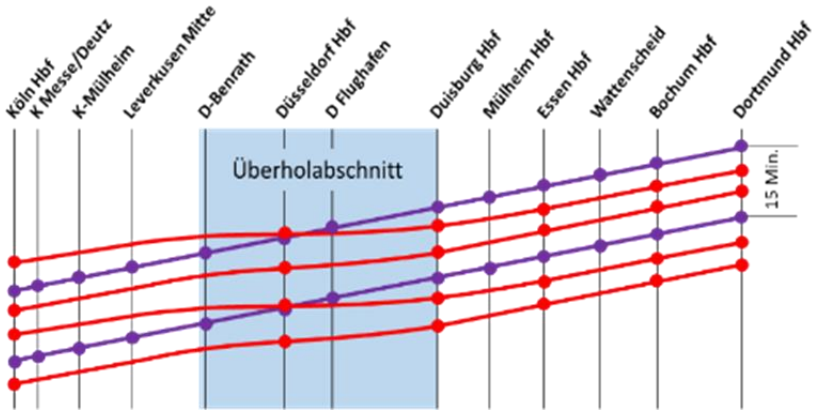
Bevölkerung NRW [Mio. Einwohner]	18
Bevölkerungsdichte [Einwohner/km2]	526
Verkehrsanteil ÖV (Personenkilometer) [%]	11
Verkehrsleistung pro Einwohner [km/Einw./Jahr]	567
Auslastung (nur ÖPNV Schiene, 2017) [%]	26
Zugkilometer [Mio.]	110

Schlussfolgerung

Im hochbelsteten Ballungsraum in NRW sind keine Taktknoten mit ausgeprägten Anschlüssen vorhanden, sondern der ITF weist eine Stammstrecken-Struktur auf, bei der die Züge etwa gleichverteilt über die Stunde verkehren. Knotenbildungen gibt es in den ländlicheren Randbereichen bei vorherrschenden (ungefähren) 30-Minuten-Takten gemäss RRX-Konzept.

Fallbeispiel Integraler Taktfahrplan (ITF) in Nordrhein-Westfalen (NRW)

Systemtrassen des RRX mit Überholungen im 15-Minuten-Takt



I.4 Bahnnetz Japan / Region JR East

Fallbeispiel Bahnnetz Japan / Region JR East

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Das japanische Bahnnetz besteht im Wesentlichen aus dem seit 1964 schrittweise entwickelten nationalen Shinkansen-Netzes (neues Stammstreckennetz) sowie dem konventionellen Netz. Das 1970 in einem Basisplan gesetzlich festgelegte nationalen Shinkansen-Netz soll nach Vollendung alle Regionen als Rückgrat des Bahnnetzes erschliessen. Es wird ausschliesslich von Hochgeschwindigkeitszügen befahren und ist baulich vollständig unabhängig vom Regional- und Güterverkehr. Das Angebot wird grösstenteils von 16 EVUs produziert und ist wenig nur vereinzelt aufeinander abgestimmt. Die Netze sind weitgehend linienbezogen betrieblich und nachfrageseitig optimiert.

Region JR East: Anschlüsse in Netzknoten ausserhalb Tokyo z.T. vorhanden, jedoch auf Grund fehlender Symmetrie und Vertaktung nicht nur wenig systematisch ausgeprägt.

Charakterisierung des Systems

Takte: Die Shinkansen verkehren mit 1 bis 2 Zügen pro Stunde je Linie. Die Linien überlagen sich teilweise zu dichteren Angeboten, sind jedoch nicht über den ganzen Tag vertaktet. Die Linien des konventionellen Bahnnetzes sind nur teilweise vertaktet. Falls vertaktet liegen Takten von 20’ bis über 60’ vor. Auch hier überlagern sich unterschiedliche Linien resp. Produktetypen zu einem dichteren Angebot.

Knotentypen: Teilweise bestehen Richtungsknoten bei Netzknoten der Shinkansen-Halte, an welchen zwischen Shinkansen und konventionellen Züge umgestiegen werden kann (z.B. Niigata). Es handelt sich jedoch höchstens um teilweise ausgeprägte Taktknoten. Die Anschlüsse streuen zudem oft stark in Richtung und Gegenrichtung auf Grund fehlender Systematisierung und/oder Symmetrie).

Produktkategorien: Sowohl auf dem Shinkansen-Netz als auch auf dem konventionellen Netz werden zahlreiche unterschiedliche Produktkategorien mit wechselnder Haltepolitik und entsprechender Reisezeit gefahren.

Durchbindungen: kaum Durchbindungen von Regionalzügen und beschleunigten Zügen, jedoch zahlreiche Durchbindungen bei schnellsten Produktekategorien

Kennzahlen *Region JR East (Quelle JR East Annual Report 2019, UIC, Wikipedia)*

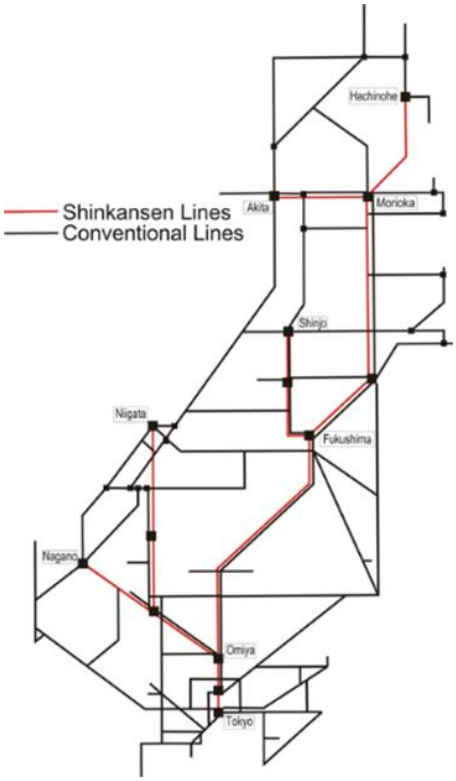
Bevölkerung [Mio. Einwohner]	69.4	Region JR East, inkl. Metropolitanregion Tokyo
Fläche [km²]	163’000	Region JR East
Personenkilometer Bahn [Mrd. Pkm]	29.3	Shinkansen und Konventionelle Linien, (ohne Metropolitanregion Tokyo)
	103.7	Metropolitanregion Tokyo
Zugkilometer [Mio. Zkm]	268	
Streckennetz [km]	4’867	Shinkansen und Konventionelle Linien
	2’535	Metropolitanregion Tokyo

Schlussfolgerung

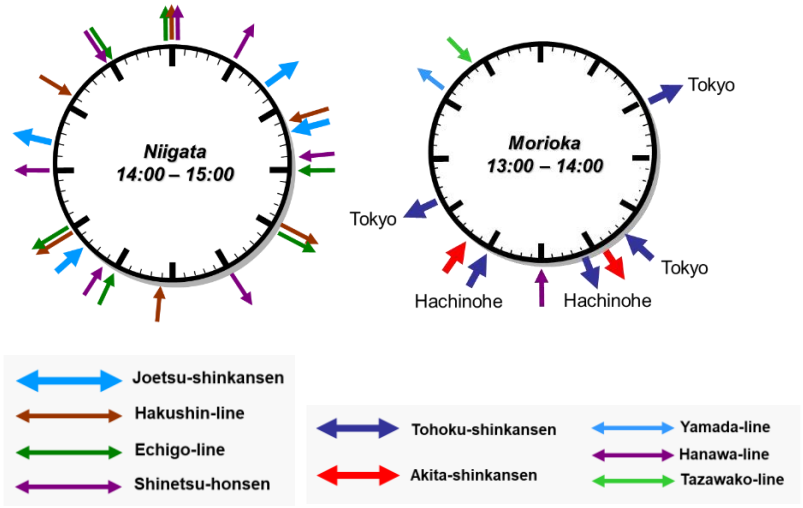
Die Shinkansen- und konventionellen Bahnlinien verkehren z.T. mit hohen Zugzahlen und betrieblich optimiert je Strecke. In den Netzknoten bestehen auf Grund teilweise fehlender Vertaktung und Symmetrie nur vereinzelt systematisch gute Anschlüsse. Taktknoten können allenfalls als Richtungsknoten oder als aufgelöst bezeichnet werden, dies bei Takten von 20’-Minuten und deutlich längeren Takten. Untersuchungen (z.B. für die mit der Schweiz vergleichbare Region Kyushu, oder die Region der JR East) weisen auf ein Verbesserungspotenzial der netzweiten Reisezeitäquivalente bei Bildung von integralen Vollknoten hin.

Fallbeispiel Bahnnetz Japan / Region JR East

Liniennetz / Knotensystem JR East



Beispiele Anschlussuhren



I.5 RegioTram Kassel

Fallbeispiel RegioTram Kassel

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Untersuchungen des Verkehrsmarktes in Kassel und speziell im weiteren Umland von Kassel bewogen den Nordhessischen Verkehrsverbund (NVV), intensiv über eine Stärkung des SPNV-Angebots im Umland von Kassel nachzudenken. Die Machbarkeitsstudien empfahlen die Einführung eines Stadtbahnsystems mit einer Verknüpfung von regionalem SPNV und lokalem Tram-Verkehr, um die gewünschte Marktnähe zu erzielen. Kernelement des Konzeptes ist die Einrichtung von drei RegioTram-Linien im Halbstundentakt sowie die Verknüpfung von Eisenbahn und Tram-Netz im Kasseler Hauptbahnhof.

Charakterisierung des Systems

Takte: Das RegioTram-System basiert auf einem Liniennetz von Halbstundentakten, welches im Eisenbahnbereich in ein System von Halbstunden-, Stunden- und Zweistundentakten eingebunden ist. Beim Trambereich im Grossraum Kassel ist das RegioTram-System in ein Tramnetz von 15-Minuten-Takten integriert, welches in der Schwachverkehrszeit (SVZ) sowohl bezüglich Anzahl Linien wie auch im Takt ausgedünnt wird (30-Minuten-Takte).

Knotentypen: In den wichtigsten Knotenbahnhöfen in Nordhessen bestehen Knoten zur vollen und / oder halben Stunde zwischen RegioTram und den übrigen Produktkategorien im SPFV und SPNV. Beim Trambereich im Grossraum Kassel existieren aufgrund der dichten Takte – wie allgemein üblich in städtischen Systemen – keine ausgeprägten Knoten, weshalb in der Hauptverkehrszeit (HVZ) sowie der in der Nebenverkehrszeit (NVZ) nur zufällige Anschlüsse bestehen. In der SVZ werden auf dem Stadtgebiet Kassel für RT/Tram zentrale Umsteigeknoten im Sinne eines ITF (Voll-/ Richtungsknoten) eingerichtet.

Produktkategorien: Im SPFV/SPNV sind je nach Korridor IC/ICE, RE, RB und RegioTram vorhanden. Auf dem Stadtgebiet Kassel befahren RegioTram und Trams die verschiedenen Korridore.

Durchbindungen: Zentrales Element des RegioTram-Systems sind Durchbindungen von den Eisenbahnstrecken des Umlands auf das Tramnetz im Grossraum Kassel.

Infrastruktur: Angebot und Infrastruktur im Umland wurden im Sinne der klassischen ITF-Planung im Planungsdreieck Angebot – Infrastruktur – Betrieb geplant. Im Stadtgebiet auf dem Tramnetz ermöglicht das Fahren auf Sicht eine Einrichtung von Knoten mit schlanker Infrastruktur.

Kennzahlen *(Quellen: VDV, Wikipedia)*

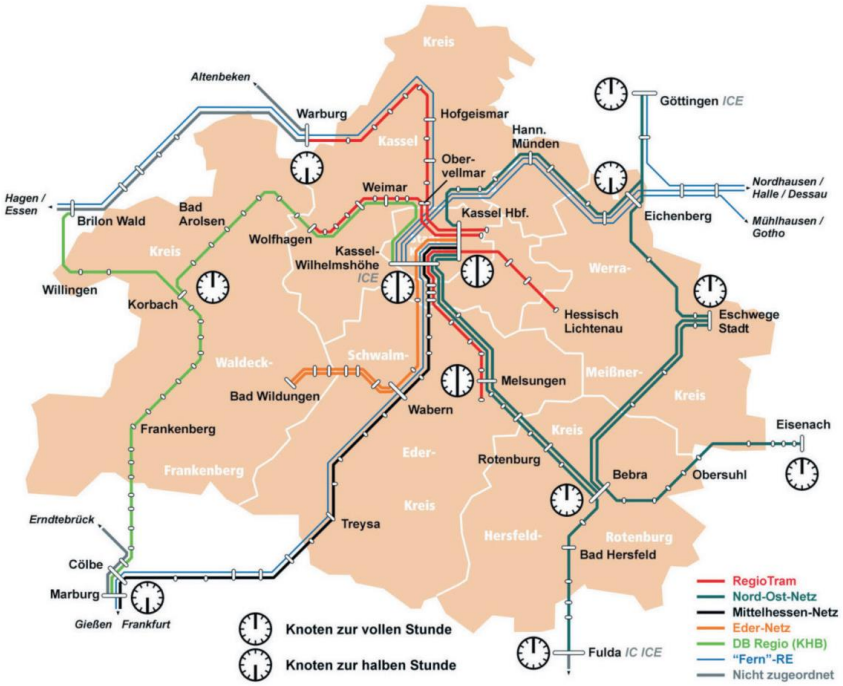
	2016
Bevölkerung Nordhessen [Mio. Einwohner]	ca. 1.0
Verkehrsanteil Bahn (Personenkilometer)	5 bis 8%
Personenkilometer Bahn [Mrd. Pkm]	0.4836
Fläche Verbundgebiet [km²]	7000
Motorisierungsgrad [# / 1000 P.]	698
Zugkilometer [Mio. Zkm]	8.87

Schlussfolgerung

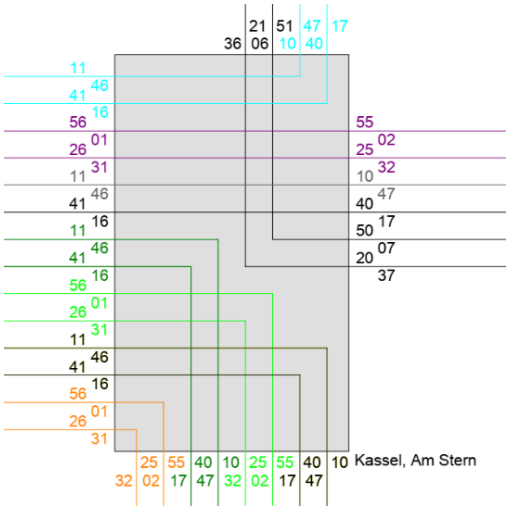
Obwohl während eines Grossteils der Betriebszeit im Tramnetz kein System von Anschlussbeziehungen besteht («aufgelöste Knoten» bei 15-Minuten-Takten, z.T. überlagert), wird in der SVZ (30-Minuten-Takte) auf ein Konzept mit Vollknoten- und Richtungsknoten gewechselt. Damit lässt sich mit reduzierter Betriebsleistung und 30-Minuten-Takten ein Maximum an Kundennutzen (Verkehrsbeziehungen) erzielen.

Fallbeispiel RegioTram Kassel

Liniennetz / Knotensystem NVV:



RT/Tram-Knoten Kassel, Am Stern zur SVZ:



I.6 Korrespondenzknoten Arth-Goldau und Mannheim

Fallbeispiele Korrespondenzknoten Arth-Goldau und Mannheim

Beschreibung, Entstehung und Zustand

Ein Netz, welches mehrheitlich aus Korrespondenzknoten gebildet ist, ist im europäischen Raum nicht zu finden. Korrespondenzknoten entstehen meist aus der Begebenheit, dass die Kantenzeiten zwischen zwei Taktknoten nicht passend für einen Vollknoten sind. Um jedoch eine attraktive Reisekette mit zumindest ausgewählten Anschlüssen anbieten zu können, werden zwei Linien in einem Korrespondenzknoten aufeinander abgestimmt: Die Züge treffen aus unterschiedlichen Richtungen mehr oder weniger gleichzeitig im Umsteigeknoten ein, die Fahrgäste steigen zwischen den Zügen um, worauf diese nach kurzer Zeit den Knoten in unterschiedliche Richtungen wieder verlassen. Im Unterschied zu einem Vollknoten findet der Vorgang in Richtung und Gegenrichtung nicht gleichzeitig statt, somit sind gute Verbindungen nur bei 4 von 6 möglichen Relationen gegeben. Korrespondenzen finden sich in der Schweiz beispielsweise in Arth-Goldau oder in Deutschland in Mannheim. Beide Korrespondenzknoten bilden seit der Einführung des Taktfahrplans ein wichtiges Element im Fernverkehrsnetz und erhöhen die Anzahl Reiseketten mit einer attraktiven Umsteigeverbindungen.

Charakterisierung Arth-Goldau

Takte: In Arth-Goldau besteht eine stündliche Korrespondenz zwischen den Linien des Nord-Süd-Fernverkehrs. Zweistündlich alternierend bestehen gegenseitige Anschlüsse zwischen den Linien Zürich – Lugano bzw. Basel – Lugano und den Linien Basel – Erstfeld bzw. Zürich – Erstfeld (beide künftig bis Locarno via Bergstrecke). Mit dem zweistündlichen Wechsel der Durchbindungen werden alternierend Direktverbindungen bzw. Umsteigeverbindungen angeboten.

Knotentyp: Da die Korrespondenz in Art-Goldau um die Minuten 15 (Richtung Norden) resp. 45 (Richtung Süden) besteht, ist der Korrespondenz-Knoten Arth-Goldau ein Spezialfall, in welchem für halbstündlich verkehrende weitere Linien ein 15/45-Knoten entsteht.

Produktkategorien: Die Korrespondenz besteht zwischen Linien des Fernverkehrs. Anschlüsse bestehen jedoch u.a. auch vom Voralpenexpress aus St. Gallen auf die Korrespondenzzüge Richtung Süden. Der Regionalverkehr und weitere Produkte des Fernverkehrs verkehren nicht zu Korrespondenzzeiten.

Infrastruktur: Während der stündlichen Korrespondenz werden zwei Gleise benötigt, da sich Richtung und Gegenrichtung nicht im Knoten begegnen. Wegen der halbstündlich ergänzenden Züge und der 15/45-Lage werden in Arth-Goldau jedoch 4 Perrongleise benötigt.

Charakterisierung Mannheim

Takte: In Mannheim begegnen sich stündlich die ICE Linien aus Basel und aus München. Es besteht ein Anschluss bzw. eine direkte Verbindung weiter Richtung Frankfurt am Main und Köln. Die Durchbindungen sind zweistündlich alternierend, so dass alle zwei Stunden eine Direktverbindung besteht und in der anderen Stunde jeweils eine Anschlussverbindung.

Die Konzeption ist eine Weiterentwicklung des 2h-IC-Systems von 1971, wo deutschlandweit in fünf wichtigen Knotenbahnhöfen jeweils zwei Züge verschiedener Linien gleichzeitig am selben Bahnsteig gegenüberstanden und so komfortable Umsteigeverbindungen mit minimalem Zeitaufwand boten.

Knotentyp: Abgesehen von der Korrespondenz bestehen in Mannheim keine ausgeprägten Knotenstrukturen. Teilweise bestehen Richtungsanschlüsse vom FV auf die S-Bahn.

Produktkategorien: Es sind ausschliesslich Züge der Kategorie ICE an der Korrespondenz beteiligt. Ausserhalb der Korrespondenzzeit verkehren Züge des Typs IC, RE und die S-Bahn.

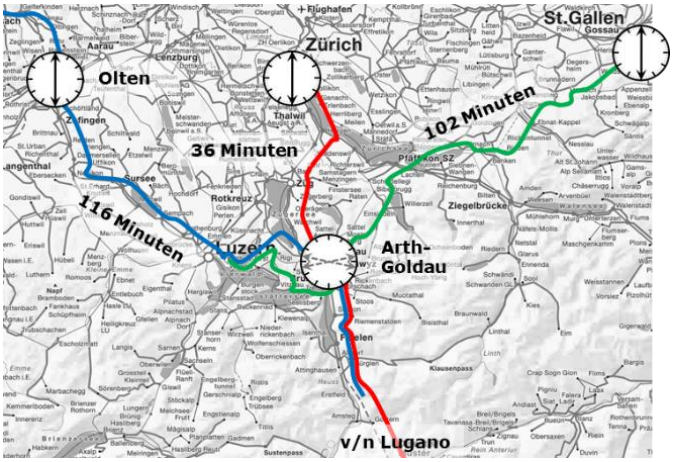
Infrastruktur: Die Konzeption der beiden FV-Linien mit (kurzen) Korrespondenzhalten gibt zusätzliche Bahnsteig-Kapazität bei bestehender Infrastruktur für die übrigen Verkehre (RE sowie S-Bahn Rhein-Neckar) frei.

Schlussfolgerung

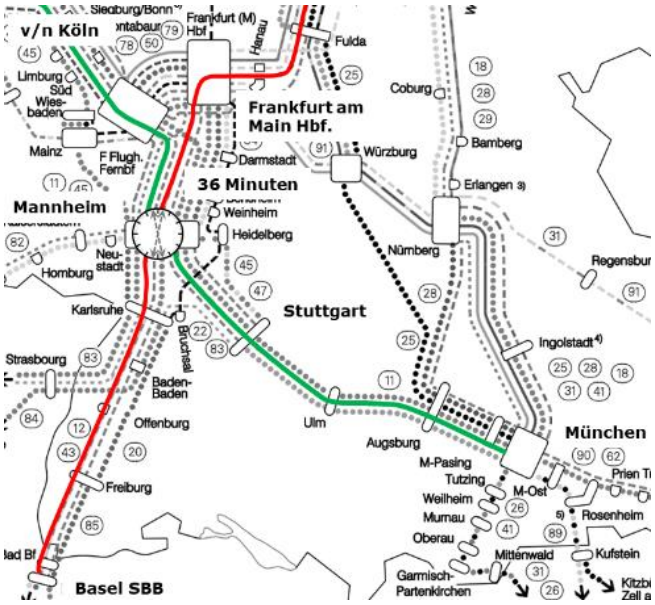
Beide Beispiele zeigen auf, dass trotz suboptimaler Kantenzeiten für den Fahrgast ein attraktives Angebot realisiert werden kann. Sowohl in Arth-Goldau wie in Mannheim entstehen durch die Überlagerung von jeweils zweistündlichen Linien zudem regelmässige Direktverbindungen von zwei Quellen zu zwei Zielen. Durch den zeitlichen Versatz von Hin- und Rückrichtung wird grundsätzlich weniger Infrastruktur im Knoten benötigt als für den Vollknoten.

Fallbeispiele Korrespondenzknoten Arth-Goldau und Mannheim

Arth-Goldau (Stand Fahrplan 2019)



Mannheim



II Auswertungen theoretische Modellknoten

II.1 knotenoptimiert / 1.0 / 1.0 / 3

II.2 knotenoptimiert / 1.32 / 1.0 / 3

II.3 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3

II.4 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 5

II.5 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 3

II.6 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 5

II.7 streckenfixiert / 1.32 / 1.0 / 3

II.8 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 3

II.9 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 5

II.10 Modell II / 1.32 / 1.14 / 3

II.11 Modell III / 1.32 / 1.14 / 5

II.1 knotenoptimiert / 1.0 / 1.0 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.26	8.53	9.79	11.06	12.32	13.59	5
Korrespondenz (3)	9.43	10.35	11.27	12.19	13.11	14.03	3
Aufgelöst (3)	8.81	10.04	11.28	12.51	13.74	14.97	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	5.61	6.29	6.97	7.64	8.32	9	5
Korrespondenz (4)	8.31	8.83	9.36	9.89	10.42	10.95	4
Aufgelöst (4)	7.38	8.03	8.68	9.32	9.97	10.61	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	5.61	6.29	6.97	7.64	8.32	9	5
Korrespondenz (5)	6.08	6.61	7.14	7.66	8.19	8.72	5
Aufgelöst (4)	6.39	7.03	7.68	8.32	8.97	9.61	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (6)	4.98	5.4	5.82	6.23	6.65	7.07	6
Korrespondenz (4)	7.78	8.18	8.57	8.97	9.37	9.77	4
Aufgelöst (4)	6.66	7.04	7.42	7.81	8.19	8.58	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.81	5.9	5.99	6.08	6.17	6.27	7
Fliessband (6)	4.43	4.65	4.87	5.1	5.32	5.54	6
Korrespondenz (5)	5.13	5.36	5.6	5.83	6.07	6.3	5
Aufgelöst (4)	5.13	5.29	5.44	5.6	5.76	5.91	4

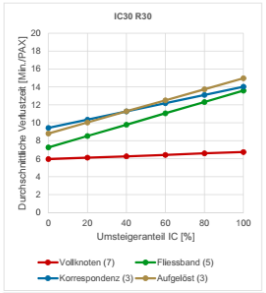
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (6)	4.98	5.4	5.82	6.23	6.65	7.07	6
Korrespondenz (5)	5.63	6.03	6.43	6.82	7.22	7.62	5
Aufgelöst (5)	5.32	5.71	6.09	6.48	6.86	7.25	5

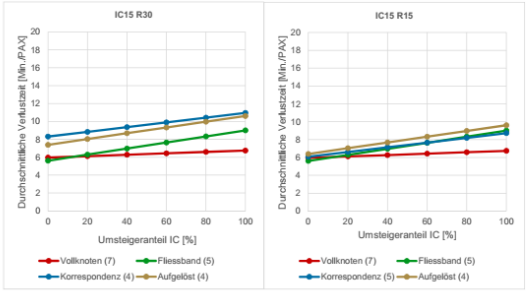
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	4.07	4.16	4.25	4.34	4.43	4.52	7
Korrespondenz (4)	7.63	7.96	8.3	8.63	8.96	9.29	4
Aufgelöst (4)	6.56	6.91	7.26	7.61	7.97	8.32	4

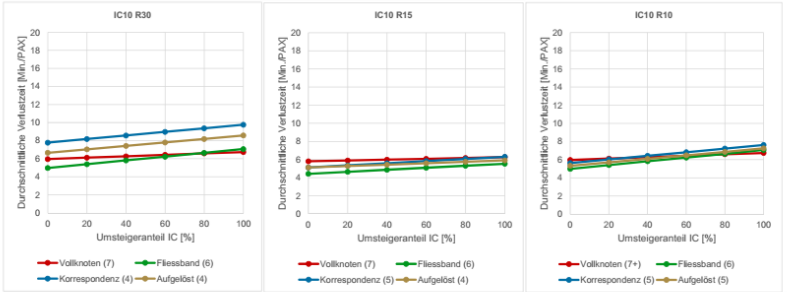
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	4.07	4.16	4.25	4.34	4.43	4.52	7
Korrespondenz (5)	5.4	5.74	6.07	6.4	6.73	7.07	5
Aufgelöst (4)	5.56	5.91	6.26	6.61	6.97	7.32	4

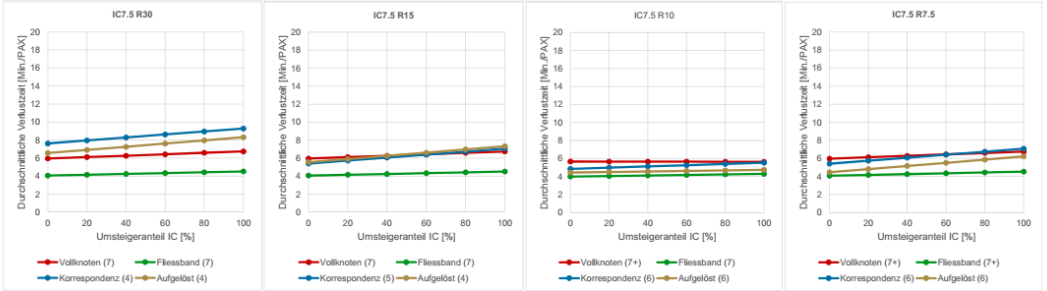
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.66	5.65	5.64	5.64	5.63	5.62	7+
Fliessband (7)	3.99	4.05	4.11	4.17	4.23	4.29	7
Korrespondenz (6)	4.84	4.98	5.12	5.25	5.39	5.53	6
Aufgelöst (6)	4.44	4.49	4.55	4.61	4.67	4.73	6

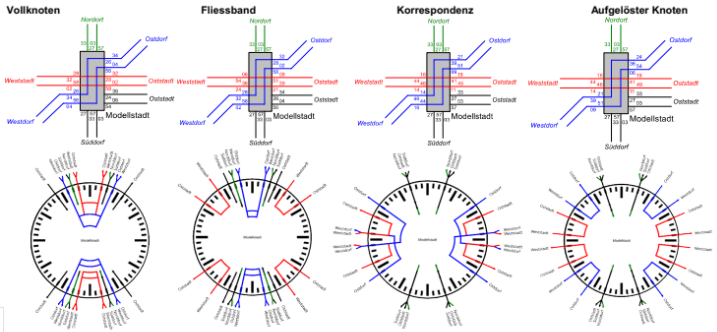
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (7+)	4.07	4.16	4.25	4.34	4.43	4.52	7+
Korrespondenz (6)	5.4	5.74	6.07	6.4	6.73	7.07	6
Aufgelöst (6)	4.45	4.8	5.15	5.5	5.85	6.21	6











x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung:	1	
Mindestumsteigezeit:	3	[Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40	[%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100	[%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1	
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1	

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.2 knotenoptimiert / 1.32 / 1.0 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.26	8.53	9.79	11.06	12.32	13.59	5
Korrespondenz (3)	9.43	10.35	11.27	12.19	13.11	14.03	3
Aufgelöst (3)	8.81	10.04	11.28	12.51	13.74	14.97	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.74	5.93	6.11	6.29	6.48	6.66	7
Fliessband (5)	5.32	6.11	6.91	7.71	8.5	9.3	5
Korrespondenz (4)	7.71	8.33	8.95	9.57	10.19	10.81	4
Aufgelöst (4)	6.9	7.65	8.41	9.17	9.93	10.68	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	5.61	6.29	6.97	7.64	8.32	9	5
Korrespondenz (5)	6.08	6.61	7.14	7.66	8.19	8.72	5
Aufgelöst (4)	6.39	7.03	7.68	8.32	8.97	9.61	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.61	5.81	6.01	6.21	6.41	6.61	7
Fliessband (6)	4.63	5.16	5.69	6.23	6.76	7.29	6
Korrespondenz (4)	6.93	7.44	7.94	8.45	8.96	9.47	4
Aufgelöst (4)	6.01	6.5	6.99	7.48	7.97	8.46	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.69	5.79	5.89	5.99	6.09	6.19	7
Fliessband (6)	4.34	4.58	4.83	5.07	5.31	5.56	6
Korrespondenz (5)	4.99	5.25	5.51	5.77	6.02	6.28	5
Aufgelöst (4)	4.99	5.17	5.34	5.51	5.68	5.85	4

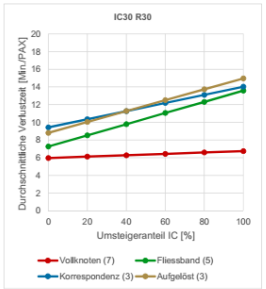
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (6)	4.98	5.4	5.82	6.23	6.65	7.07	6
Korrespondenz (5)	5.63	6.03	6.43	6.82	7.22	7.62	5
Aufgelöst (5)	5.32	5.71	6.09	6.48	6.86	7.25	5

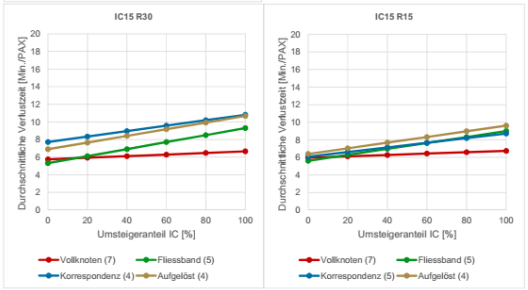
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.52	5.73	5.94	6.15	6.36	6.58	7
Fliessband (7)	3.83	3.95	4.07	4.2	4.32	4.44	7
Korrespondenz (4)	6.59	7.04	7.49	7.93	8.38	8.83	4
Aufgelöst (4)	5.76	6.23	6.71	7.18	7.66	8.13	4

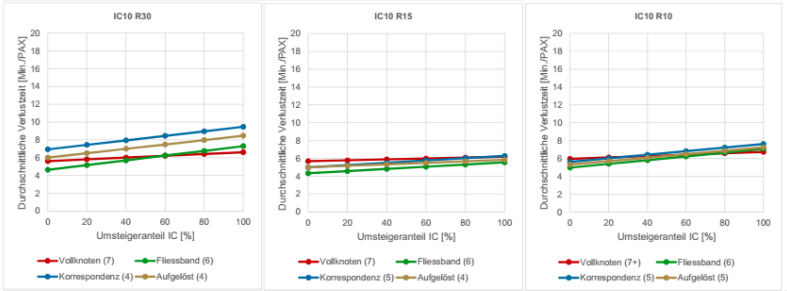
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.74	5.93	6.11	6.29	6.48	6.66	7
Fliessband (7)	3.95	4.06	4.16	4.27	4.38	4.49	7
Korrespondenz (5)	5.14	5.53	5.92	6.31	6.7	7.09	5
Aufgelöst (4)	5.27	5.69	6.1	6.51	6.93	7.34	4

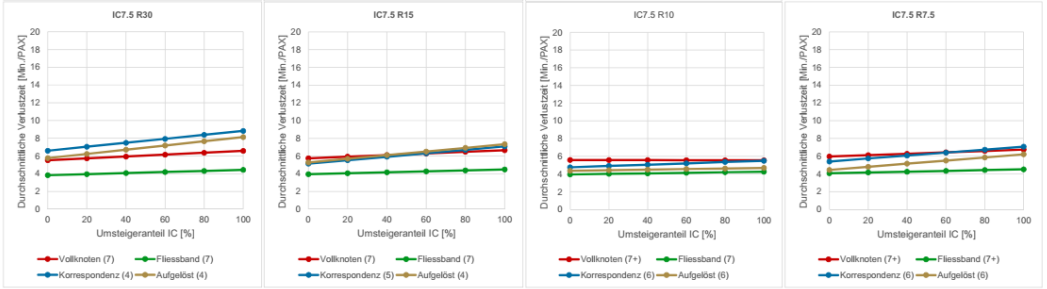
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.58	5.57	5.57	5.56	5.55	5.55	7+
Fliessband (7)	3.95	4.01	4.07	4.14	4.2	4.26	7
Korrespondenz (6)	4.76	4.91	5.05	5.2	5.35	5.49	6
Aufgelöst (6)	4.37	4.43	4.5	4.56	4.62	4.68	6

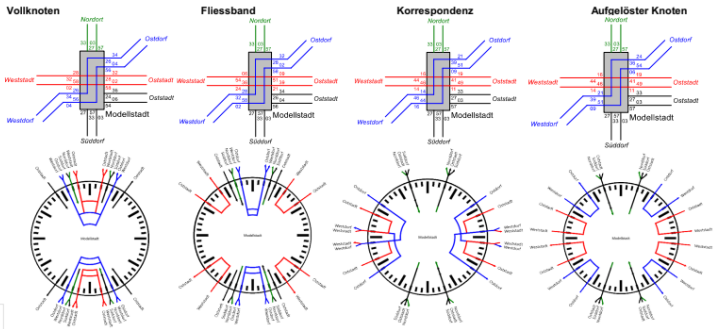
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (7+)	4.07	4.16	4.25	4.34	4.43	4.52	7+
Korrespondenz (6)	5.4	5.74	6.07	6.4	6.73	7.07	6
Aufgelöst (6)	4.45	4.8	5.15	5.5	5.85	6.21	6











x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.3 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	8.01	9.49	10.96	12.44	13.92	15.39	5
Korrespondenz (3)	10.4	11.49	12.57	13.65	14.73	15.81	3
Aufgelöst (3)	9.8	11.24	12.68	14.12	15.56	16.99	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (5)	5.78	6.73	7.67	8.62	9.56	10.51	5
Korrespondenz (4)	8.44	9.19	9.93	10.68	11.42	12.17	4
Aufgelöst (4)	7.6	8.5	9.41	10.31	11.21	12.11	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	6.13	6.93	7.74	8.55	9.35	10.16	5
Korrespondenz (5)	6.59	7.22	7.86	8.49	9.13	9.76	5
Aufgelöst (4)	7.04	7.81	8.58	9.35	10.11	10.88	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.95	6.23	6.52	6.8	7.09	7.37	7
Fliessband (6)	4.98	5.63	6.28	6.93	7.58	8.23	6
Korrespondenz (4)	7.54	8.16	8.78	9.4	10.03	10.65	4
Aufgelöst (4)	6.57	7.18	7.78	8.38	8.98	9.58	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.06	6.22	6.38	6.54	6.71	6.87	7
Fliessband (6)	4.67	4.98	5.3	5.61	5.93	6.24	6
Korrespondenz (5)	5.34	5.67	6	6.33	6.66	7	5
Aufgelöst (4)	5.44	5.67	5.9	6.14	6.37	6.6	4

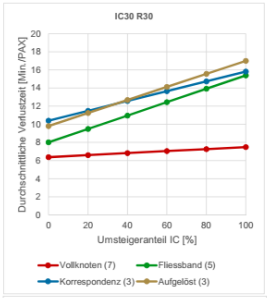
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (6)	5.41	5.92	6.43	6.94	7.45	7.96	6
Korrespondenz (5)	6.07	6.56	7.05	7.53	8.02	8.51	5
Aufgelöst (5)	5.83	6.3	6.77	7.24	7.71	8.19	5

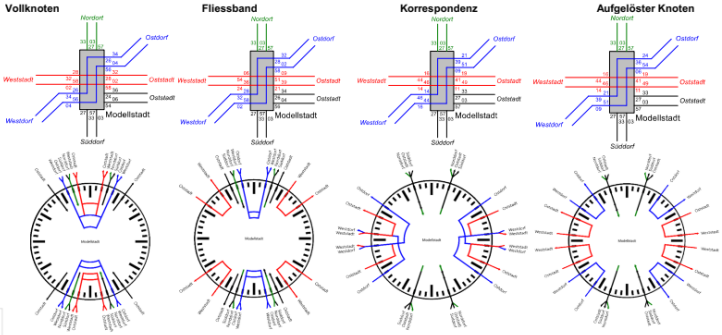
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.84	6.14	6.44	6.74	7.04	7.34	7
Fliessband (7)	4.06	4.25	4.43	4.62	4.8	4.99	7
Korrespondenz (4)	7.15	7.71	8.26	8.82	9.37	9.93	4
Aufgelöst (4)	6.28	6.87	7.45	8.04	8.63	9.21	4

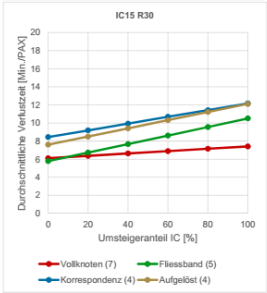
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (7)	4.22	4.38	4.54	4.7	4.86	5.02	7
Korrespondenz (5)	5.5	5.99	6.47	6.95	7.44	7.92	5
Aufgelöst (4)	5.75	6.26	6.77	7.28	7.79	8.3	4

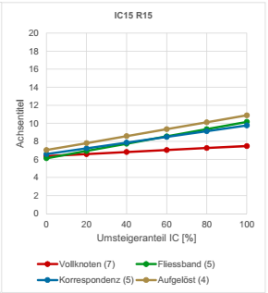
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.93	5.97	6.01	6.05	6.09	6.13	7+
Fliessband (7)	4.23	4.33	4.44	4.55	4.65	4.76	7
Korrespondenz (6)	5.08	5.28	5.48	5.69	5.89	6.09	6
Aufgelöst (6)	4.73	4.84	4.95	5.05	5.16	5.27	6

IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (7+)	4.37	4.51	4.65	4.78	4.92	5.06	7+
Korrespondenz (6)	5.82	6.23	6.64	7.05	7.47	7.88	6
Aufgelöst (6)	4.83	5.26	5.7	6.13	6.56	7	6





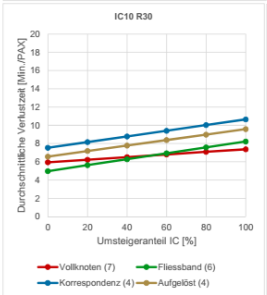


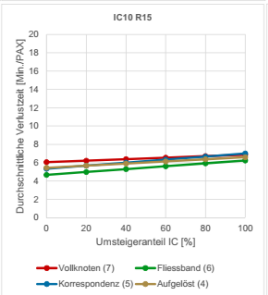


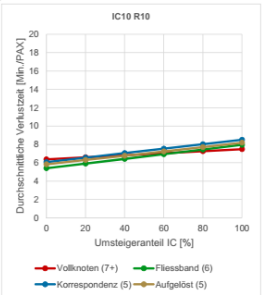
x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

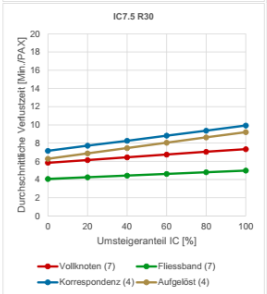
Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1.14

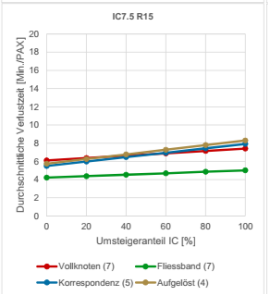
Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

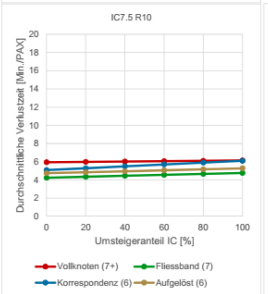


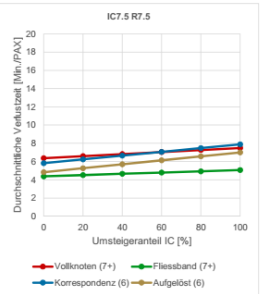












II.4 knotenoptimiert / 1.32 / 1.14 / 5

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	8.01	9.49	10.96	12.44	13.92	15.39	5
Korrespondenz (3)	10.4	11.49	12.57	13.65	14.73	15.81	3
Aufgelöst (3)	9.8	11.24	12.68	14.12	15.56	16.99	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (5)	5.78	6.73	7.67	8.62	9.56	10.51	5
Korrespondenz (4)	8.44	9.19	9.93	10.68	11.42	12.17	4
Aufgelöst (4)	7.6	8.5	9.41	10.31	11.21	12.11	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	6.13	6.93	7.74	8.55	9.35	10.16	5
Korrespondenz (5)	7.99	8.62	9.26	9.89	10.53	11.16	5
Aufgelöst (4)	7.04	7.81	8.58	9.35	10.11	10.88	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.95	6.23	6.52	6.8	7.09	7.37	7
Fliessband (6)	5.05	5.8	6.54	7.29	8.03	8.78	6
Korrespondenz (4)	7.54	8.16	8.78	9.4	10.03	10.65	4
Aufgelöst (4)	6.76	7.56	8.35	9.14	9.93	10.72	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.22	6.46	6.71	6.95	7.2	7.44	7
Fliessband (6)	4.83	5.23	5.62	6.02	6.42	6.81	6
Korrespondenz (5)	6.65	6.98	7.31	7.64	7.97	8.3	5
Aufgelöst (4)	5.76	6.24	6.72	7.2	7.68	8.15	4

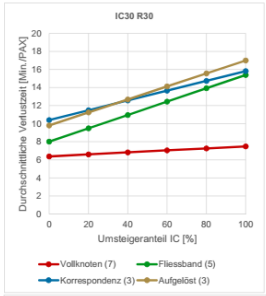
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (6)	5.5	6.08	6.67	7.25	7.83	8.41	6
Korrespondenz (5)	6.83	7.32	7.81	8.29	8.78	9.27	5
Aufgelöst (5)	6.06	6.68	7.3	7.92	8.54	9.16	5

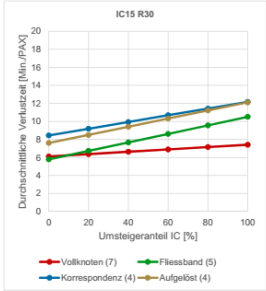
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.84	6.14	6.44	6.74	7.04	7.34	7
Fliessband (7)	5.22	6.16	7.1	8.04	8.97	9.91	7
Korrespondenz (4)	7.15	7.71	8.26	8.82	9.37	9.93	4
Aufgelöst (4)	6.28	6.87	7.45	8.04	8.63	9.21	4

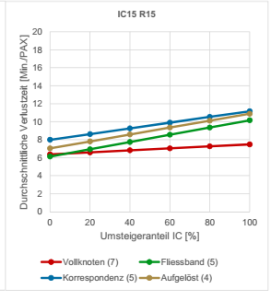
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (7)	5.55	6.36	7.18	7.99	8.81	9.62	7
Korrespondenz (5)	6.75	7.23	7.71	8.2	8.68	9.16	5
Aufgelöst (4)	5.75	6.26	6.77	7.28	7.79	8.3	4

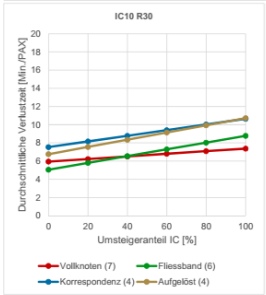
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.18	6.38	6.58	6.78	6.97	7.17	7+
Fliessband (7)	4.78	5.13	5.48	5.82	6.17	6.51	7
Korrespondenz (6)	6.2	6.52	6.84	7.16	7.48	7.81	6
Aufgelöst (6)	5.29	5.64	5.98	6.33	6.68	7.02	6

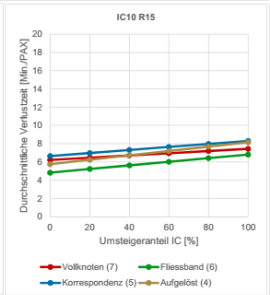
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (7+)	5.87	6.56	7.26	7.95	8.65	9.34	7+
Korrespondenz (6)	6.52	6.93	7.34	7.75	8.17	8.58	6
Aufgelöst (6)	6.1	6.53	6.96	7.4	7.83	8.27	6

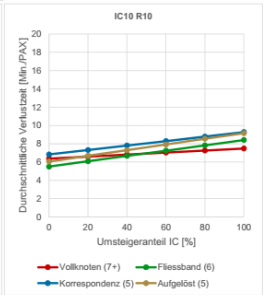


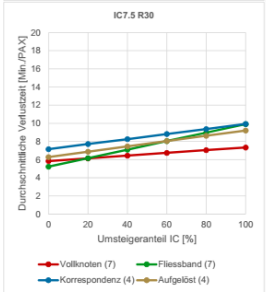


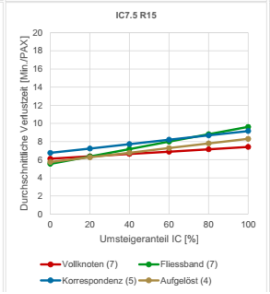


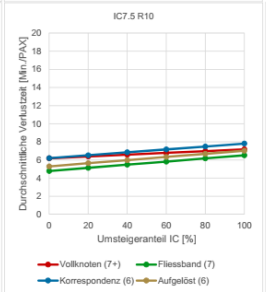


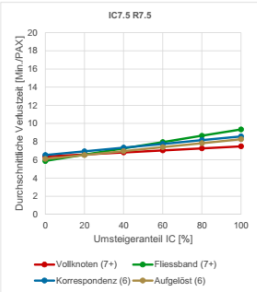


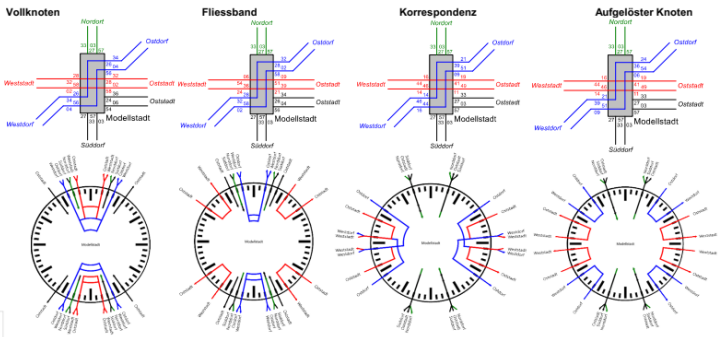












x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	5 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1.14

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.5 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	8.66	10.03	11.4	12.77	14.14	15.51	5
Korrespondenz (3)	9.8	10.76	11.72	12.68	13.64	14.6	3
Aufgelöst (3)	9.19	10.46	11.73	13	14.27	15.54	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.01	7.79	8.57	9.36	10.14	10.92	5
Korrespondenz (4)	8.34	8.81	9.28	9.75	10.22	10.69	4
Aufgelöst (4)	7.42	8	8.59	9.18	9.76	10.35	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.01	7.79	8.57	9.36	10.14	10.92	5
Korrespondenz (5)	6.11	6.58	7.05	7.52	7.99	8.46	5
Aufgelöst (4)	6.42	7.01	7.59	8.18	8.77	9.35	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (6)	6.08	6.4	6.73	7.05	7.38	7.71	6
Korrespondenz (4)	8.08	8.45	8.82	9.19	9.56	9.94	4
Aufgelöst (4)	6.95	7.31	7.67	8.03	8.39	8.75	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.81	5.9	5.99	6.08	6.17	6.27	7
Fliessband (6)	5.52	5.65	5.79	5.92	6.05	6.18	6
Korrespondenz (5)	5.35	5.56	5.77	5.98	6.19	6.39	5
Aufgelöst (4)	5.35	5.48	5.61	5.74	5.87	6.01	4

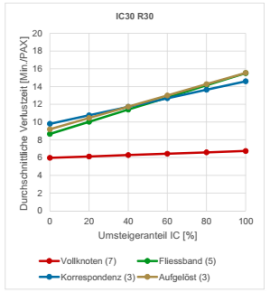
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (6+)	6.08	6.4	6.73	7.05	7.38	7.71	6+
Korrespondenz (5+)	5.93	6.3	6.67	7.04	7.42	7.79	5+
Aufgelöst (5+)	5.29	5.65	6.01	6.37	6.73	7.09	5+

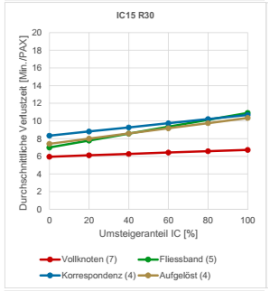
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	5.47	5.66	5.86	6.05	6.25	6.45	7
Korrespondenz (4)	7.83	8.16	8.48	8.8	9.12	9.45	4
Aufgelöst (4)	6.76	7.1	7.45	7.79	8.13	8.47	4

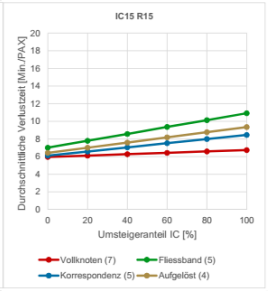
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	5.47	5.66	5.86	6.05	6.25	6.45	7
Korrespondenz (5)	5.61	5.93	6.25	6.58	6.9	7.22	5
Aufgelöst (4)	5.76	6.1	6.45	6.79	7.13	7.47	4

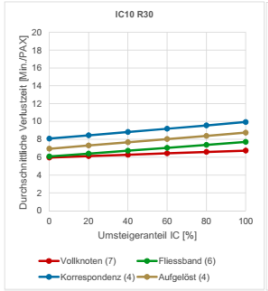
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.66	5.65	5.64	5.64	5.63	5.62	7+
Fliessband (7+)	5.24	5.3	5.37	5.43	5.5	5.56	7+
Korrespondenz (6+)	5.14	5.29	5.43	5.57	5.72	5.86	6+
Aufgelöst (6+)	4.41	4.47	4.54	4.6	4.67	4.73	6+

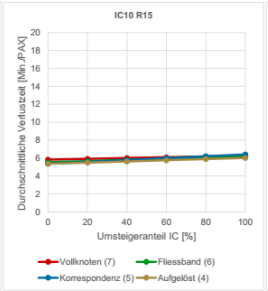
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (7+)	5.47	5.66	5.86	6.05	6.25	6.45	7+
Korrespondenz (6+)	5.47	5.8	6.12	6.44	6.77	7.09	6+
Aufgelöst (6+)	4.65	4.99	5.33	5.68	6.02	6.36	6+

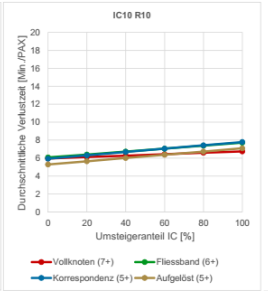


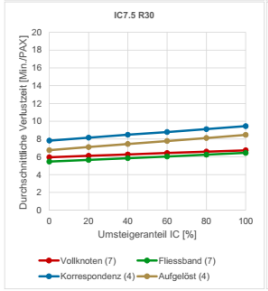


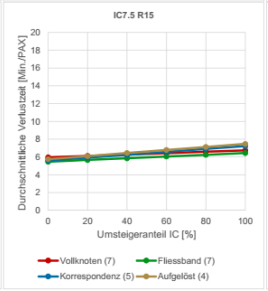


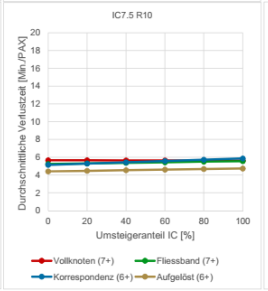


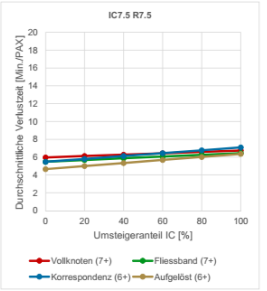


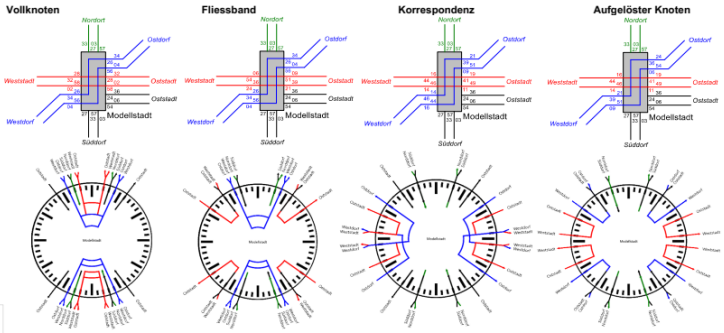












x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung:	1
Mindestumsteigezeit:	3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.6 streckenfixiert / 1.0 / 1.0 / 5

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	8.66	10.03	11.4	12.77	14.14	15.51	5
Korrespondenz (3)	9.8	10.76	11.72	12.68	13.64	14.6	3
Aufgelöst (3)	9.19	10.46	11.73	13	14.27	15.54	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.01	7.79	8.57	9.36	10.14	10.92	5
Korrespondenz (4)	8.34	8.81	9.28	9.75	10.22	10.69	4
Aufgelöst (4)	7.42	8	8.59	9.18	9.76	10.35	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.01	7.79	8.57	9.36	10.14	10.92	5
Korrespondenz (5)	6.84	7.31	7.78	8.25	8.72	9.19	5
Aufgelöst (4)	6.42	7.01	7.59	8.18	8.77	9.35	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (6)	6.38	6.9	7.42	7.95	8.47	8.99	6
Korrespondenz (4)	8.08	8.45	8.82	9.19	9.56	9.94	4
Aufgelöst (4)	7.16	7.65	8.14	8.62	9.11	9.6	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (6)	5.83	6.15	6.48	6.81	7.13	7.46	6
Korrespondenz (5)	6.08	6.29	6.5	6.71	6.92	7.13	5
Aufgelöst (4)	5.66	5.98	6.31	6.64	6.96	7.29	4

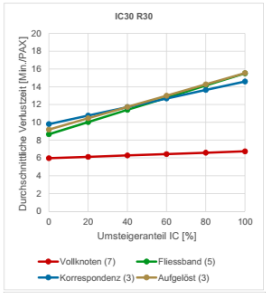
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (6+)	6.38	6.9	7.42	7.95	8.47	8.99	6+
Korrespondenz (5+)	6.42	6.79	7.16	7.53	7.9	8.28	5+
Aufgelöst (5+)	5.5	5.98	6.47	6.96	7.45	7.94	5+

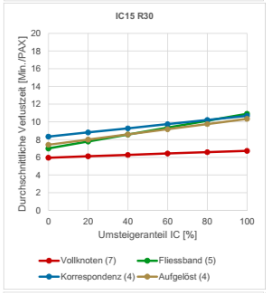
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	6.32	6.71	7.11	7.5	7.89	8.28	7
Korrespondenz (4)	7.83	8.16	8.48	8.8	9.12	9.45	4
Aufgelöst (4)	6.76	7.1	7.45	7.79	8.13	8.47	4

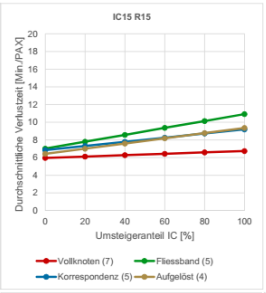
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (7)	6.32	6.71	7.11	7.5	7.89	8.28	7
Korrespondenz (5)	6.34	6.66	6.99	7.31	7.63	7.95	5
Aufgelöst (4)	5.76	6.1	6.45	6.79	7.13	7.47	4

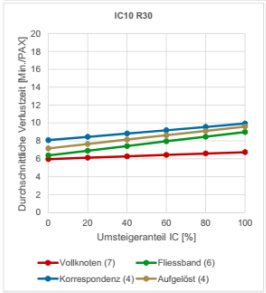
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.89	6.01	6.13	6.26	6.38	6.5	7+
Fliessband (7+)	5.68	5.9	6.13	6.36	6.59	6.82	7+
Korrespondenz (6+)	5.92	6.12	6.33	6.54	6.75	6.96	6+
Aufgelöst (6+)	4.84	5.07	5.3	5.53	5.76	5.98	6+

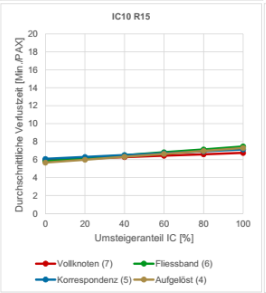
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (7+)	6.32	6.71	7.11	7.5	7.89	8.28	7+
Korrespondenz (6+)	5.97	6.3	6.62	6.94	7.27	7.59	6+
Aufgelöst (6+)	5.38	5.72	6.07	6.41	6.75	7.09	6+

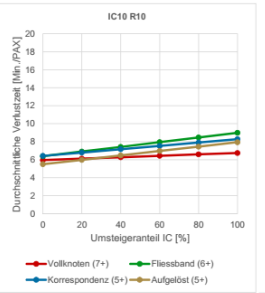


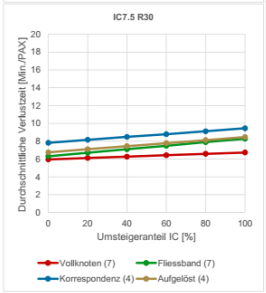


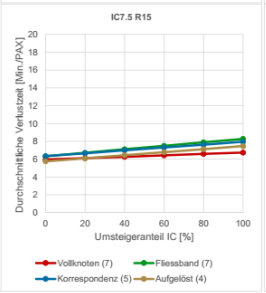


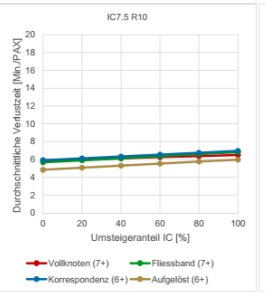


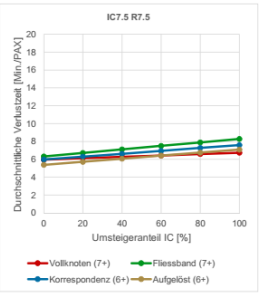


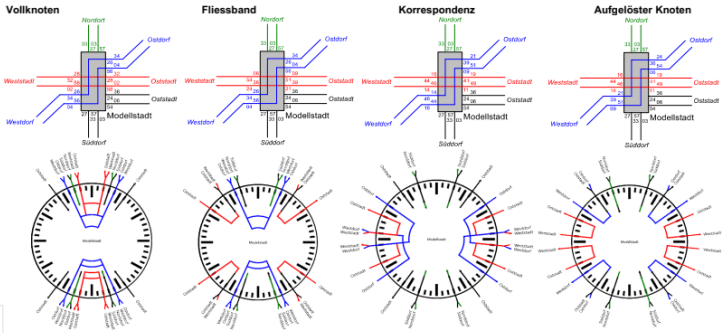












x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung: 1

Mindestumsteigezeit: 5 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge: 40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge: 100 [%]

Gewichtung der Minuten (Durchfahrt): 1
Gewichtung der Minuten (Umstieg): 1

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.7 streckenfixiert / 1.32 / 1.0 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	8.66	10.03	11.4	12.77	14.14	15.51	5
Korrespondenz (3)	9.8	10.76	11.72	12.68	13.64	14.6	3
Aufgelöst (3)	9.19	10.46	11.73	13	14.27	15.54	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.74	5.93	6.11	6.29	6.48	6.66	7
Fliessband (5)	6.56	7.48	8.4	9.32	10.23	11.15	5
Korrespondenz (4)	7.74	8.29	8.85	9.4	9.95	10.5	4
Aufgelöst (4)	6.93	7.61	8.3	8.99	9.68	10.37	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7
Fliessband (5)	7.01	7.79	8.57	9.36	10.14	10.92	5
Korrespondenz (5)	6.11	6.58	7.05	7.52	7.99	8.46	5
Aufgelöst (4)	6.42	7.01	7.59	8.18	8.77	9.35	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.61	5.81	6.01	6.21	6.41	6.61	7
Fliessband (6)	5.53	5.95	6.36	6.78	7.19	7.61	6
Korrespondenz (4)	7.17	7.65	8.12	8.6	9.07	9.55	4
Aufgelöst (4)	6.25	6.71	7.17	7.62	8.08	8.54	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.69	5.79	5.89	5.99	6.09	6.19	7
Fliessband (6)	5.36	5.5	5.65	5.79	5.94	6.08	6
Korrespondenz (5)	5.2	5.43	5.66	5.89	6.12	6.35	5
Aufgelöst (4)	5.2	5.34	5.49	5.63	5.78	5.92	4

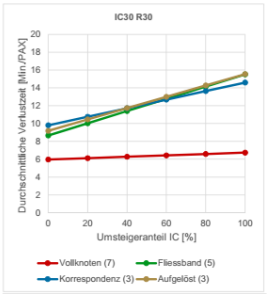
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (6+)	6.08	6.4	6.73	7.05	7.38	7.71	6+
Korrespondenz (5+)	5.93	6.3	6.67	7.04	7.42	7.79	5+
Aufgelöst (5+)	5.29	5.65	6.01	6.37	6.73	7.09	5+

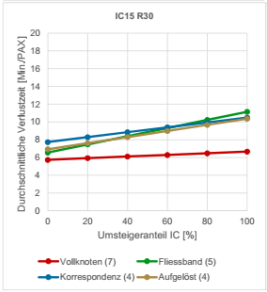
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.52	5.73	5.94	6.15	6.36	6.58	7
Fliessband (7)	4.91	5.18	5.44	5.7	5.97	6.23	7
Korrespondenz (4)	6.75	7.18	7.62	8.05	8.49	8.92	4
Aufgelöst (4)	5.91	6.38	6.84	7.3	7.76	8.23	4

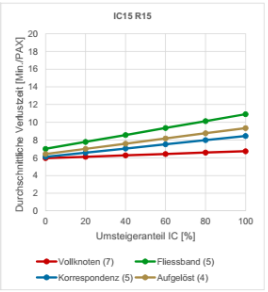
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.74	5.93	6.11	6.29	6.48	6.66	7
Fliessband (7)	5.19	5.42	5.65	5.88	6.11	6.34	7
Korrespondenz (5)	5.32	5.7	6.08	6.45	6.83	7.21	5
Aufgelöst (4)	5.45	5.86	6.26	6.66	7.06	7.46	4

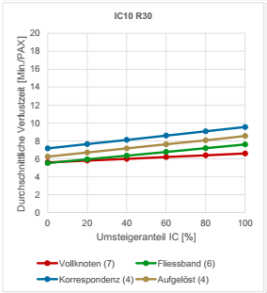
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.58	5.57	5.57	5.56	5.55	5.55	7+
Fliessband (7+)	5.14	5.21	5.28	5.35	5.42	5.49	7+
Korrespondenz (6+)	5.04	5.2	5.35	5.51	5.66	5.81	6+
Aufgelöst (6+)	4.34	4.41	4.48	4.55	4.62	4.69	6+

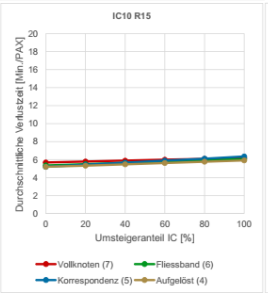
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.96	6.12	6.27	6.43	6.59	6.74	7+
Fliessband (7+)	5.47	5.66	5.86	6.05	6.25	6.45	7+
Korrespondenz (6+)	5.47	5.8	6.12	6.44	6.77	7.09	6+
Aufgelöst (6+)	4.65	4.99	5.33	5.68	6.02	6.36	6+

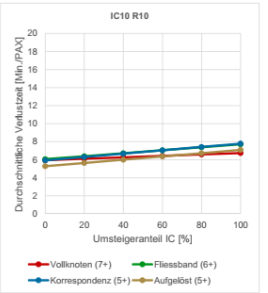


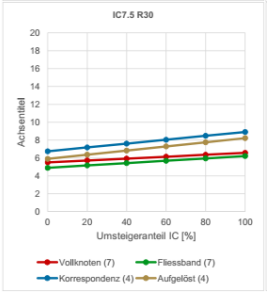


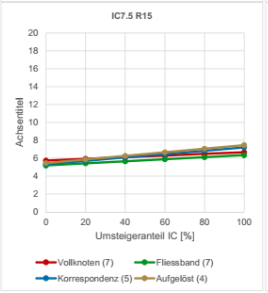


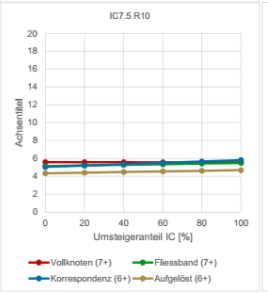


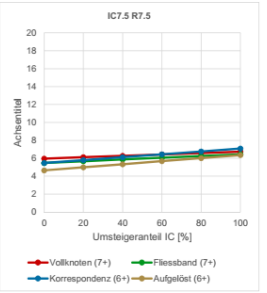


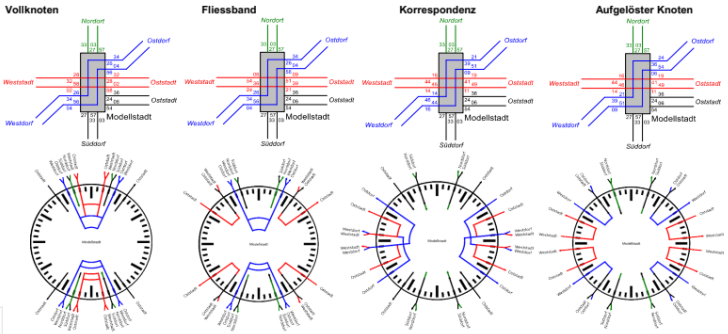












x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.8 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	9.51	11.1	12.7	14.29	15.88	17.48	5
Korrespondenz (3)	10.83	11.96	13.08	14.21	15.33	16.46	3
Aufgelöst (3)	10.23	11.71	13.2	14.68	16.16	17.64	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (5)	7.11	8.19	9.28	10.36	11.45	12.53	5
Korrespondenz (4)	8.48	9.14	9.81	10.48	11.14	11.81	4
Aufgelöst (4)	7.63	8.46	9.28	10.1	10.93	11.75	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	7.62	8.55	9.47	10.4	11.32	12.25	5
Korrespondenz (5)	6.62	7.19	7.76	8.33	8.9	9.47	5
Aufgelöst (4)	7.08	7.78	8.48	9.18	9.88	10.59	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.95	6.23	6.52	6.8	7.09	7.37	7
Fliessband (6)	5.92	6.44	6.96	7.47	7.99	8.51	6
Korrespondenz (4)	7.82	8.41	8.99	9.57	10.15	10.74	4
Aufgelöst (4)	6.85	7.42	7.98	8.55	9.11	9.67	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.06	6.22	6.38	6.54	6.71	6.87	7
Fliessband (6)	5.74	5.94	6.14	6.34	6.54	6.74	6
Korrespondenz (5)	5.58	5.88	6.17	6.47	6.77	7.07	5
Aufgelöst (4)	5.68	5.88	6.08	6.28	6.48	6.68	4

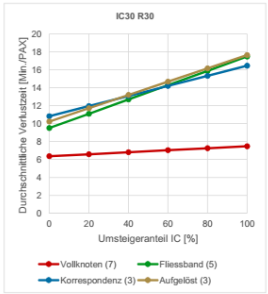
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (6+)	6.56	6.96	7.37	7.77	8.18	8.58	6+
Korrespondenz (5+)	6.41	6.87	7.33	7.78	8.24	8.7	5+
Aufgelöst (5+)	5.79	6.23	6.68	7.12	7.56	8	5+

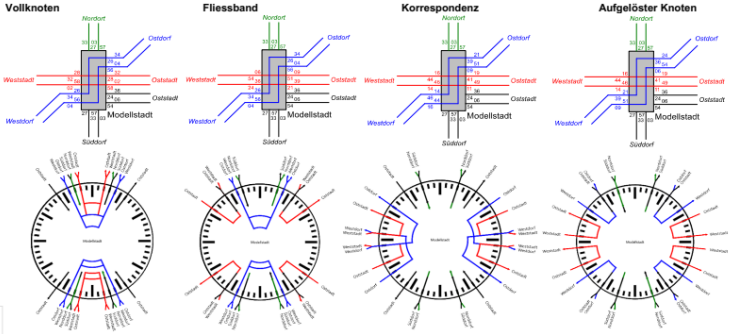
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.84	6.14	6.44	6.74	7.04	7.34	7
Fliessband (7)	5.22	5.56	5.91	6.26	6.6	6.95	7
Korrespondenz (4)	7.33	7.87	8.41	8.95	9.49	10.04	4
Aufgelöst (4)	6.46	7.03	7.6	8.17	8.75	9.32	4

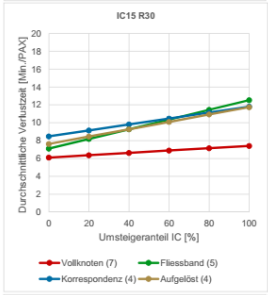
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (7)	5.54	5.85	6.15	6.45	6.75	7.05	7
Korrespondenz (5)	5.71	6.18	6.65	7.12	7.59	8.06	5
Aufgelöst (4)	5.96	6.45	6.95	7.45	7.94	8.44	4

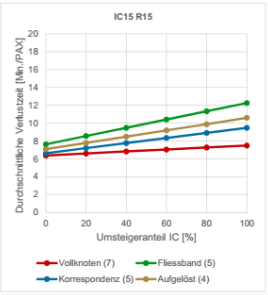
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	5.93	5.97	6.01	6.05	6.09	6.13	7+
Fliessband (7+)	5.48	5.6	5.71	5.83	5.94	6.06	7+
Korrespondenz (6+)	5.4	5.61	5.82	6.03	6.25	6.46	6+
Aufgelöst (6+)	4.7	4.81	4.93	5.04	5.16	5.27	6+

IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (7+)	5.86	6.12	6.38	6.63	6.89	7.14	7+
Korrespondenz (6+)	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	6+
Aufgelöst (6+)	5.06	5.48	5.91	6.33	6.75	7.18	6+





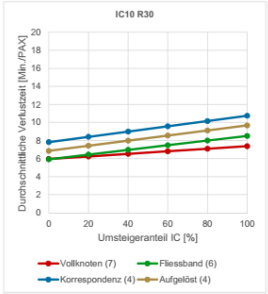


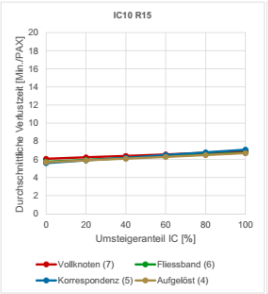


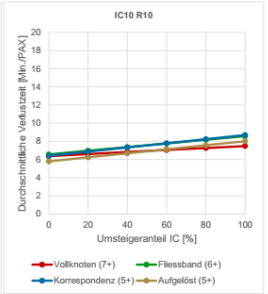
x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

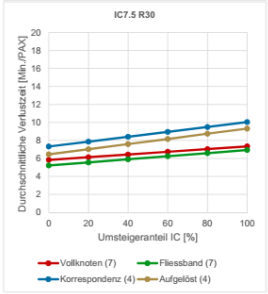
Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1.14

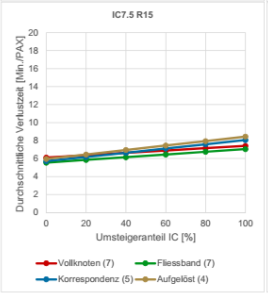
Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

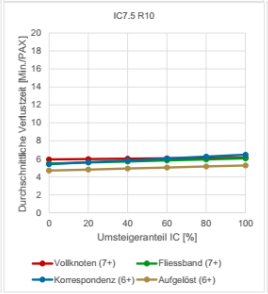


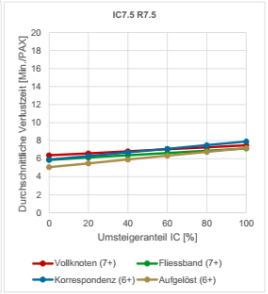












II.9 streckenfixiert / 1.32 / 1.14 / 5

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	9.51	11.1	12.7	14.29	15.88	17.48	5
Korrespondenz (3)	10.83	11.96	13.08	14.21	15.33	16.46	3
Aufgelöst (3)	10.23	11.71	13.2	14.68	16.16	17.64	3

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (5)	7.11	8.19	9.28	10.36	11.45	12.53	5
Korrespondenz (4)	8.48	9.14	9.81	10.48	11.14	11.81	4
Aufgelöst (4)	7.63	8.46	9.28	10.1	10.93	11.75	4

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7
Fliessband (5)	7.62	8.55	9.47	10.4	11.32	12.25	5
Korrespondenz (5)	7.46	8.03	8.6	9.16	9.73	10.3	5
Aufgelöst (4)	7.08	7.78	8.48	9.18	9.88	10.59	4

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.95	6.23	6.52	6.8	7.09	7.37	7
Fliessband (6)	6.21	7.01	7.81	8.61	9.42	10.22	6
Korrespondenz (4)	7.82	8.41	8.99	9.57	10.15	10.74	4
Aufgelöst (4)	7.04	7.8	8.55	9.3	10.06	10.81	4

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.22	6.46	6.71	6.95	7.2	7.44	7
Fliessband (6)	6.06	6.51	6.95	7.4	7.85	8.29	6
Korrespondenz (5)	6.36	6.66	6.96	7.25	7.55	7.85	5
Aufgelöst (4)	6	6.45	6.89	7.34	7.78	8.23	4

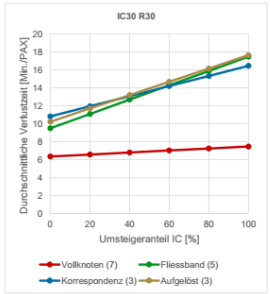
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (6+)	6.9	7.53	8.16	8.79	9.42	10.04	6+
Korrespondenz (5+)	6.97	7.43	7.88	8.34	8.8	9.25	5+
Aufgelöst (5+)	6.02	6.61	7.2	7.8	8.39	8.98	5+

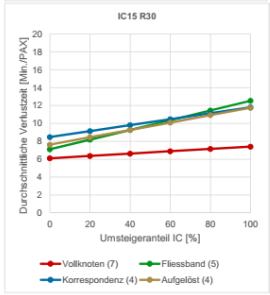
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	5.84	6.14	6.44	6.74	7.04	7.34	7
Fliessband (7)	5.98	6.62	7.27	7.92	8.56	9.21	7
Korrespondenz (4)	7.33	7.87	8.41	8.95	9.49	10.04	4
Aufgelöst (4)	6.46	7.03	7.6	8.17	8.75	9.32	4

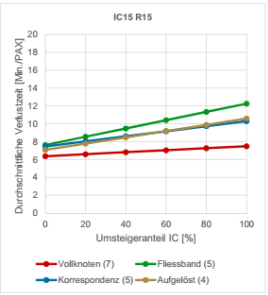
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7)	6.11	6.37	6.63	6.89	7.15	7.41	7
Fliessband (7)	6.41	6.97	7.54	8.1	8.66	9.22	7
Korrespondenz (5)	6.45	6.92	7.39	7.86	8.33	8.8	5
Aufgelöst (4)	5.96	6.45	6.95	7.45	7.94	8.44	4

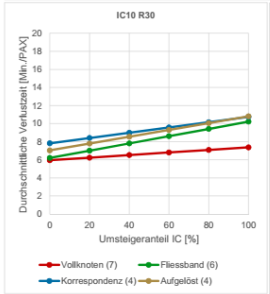
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.18	6.38	6.58	6.78	6.97	7.17	7+
Fliessband (7+)	5.96	6.27	6.59	6.9	7.22	7.53	7+
Korrespondenz (6+)	6.25	6.54	6.83	7.12	7.41	7.7	6+
Aufgelöst (6+)	5.18	5.49	5.8	6.12	6.43	6.74	6+

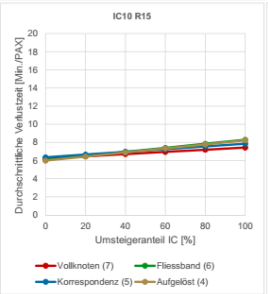
IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (7+)	6.37	6.59	6.82	7.04	7.26	7.48	7+
Fliessband (7+)	6.84	7.32	7.8	8.28	8.76	9.23	7+
Korrespondenz (6+)	6.47	6.87	7.27	7.67	8.07	8.47	6+
Aufgelöst (6+)	5.89	6.32	6.74	7.16	7.59	8.01	6+

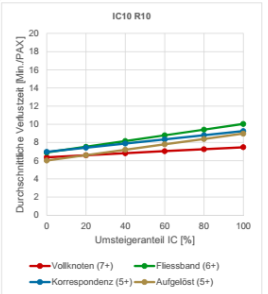


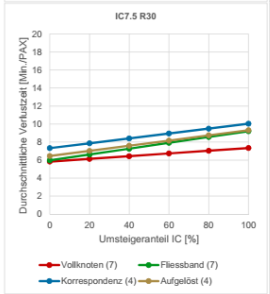


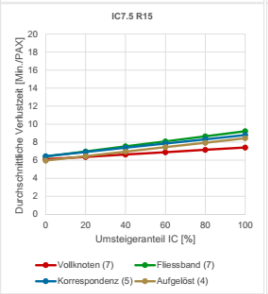


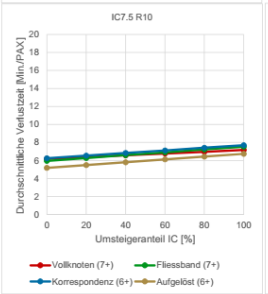


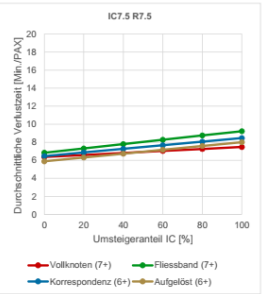


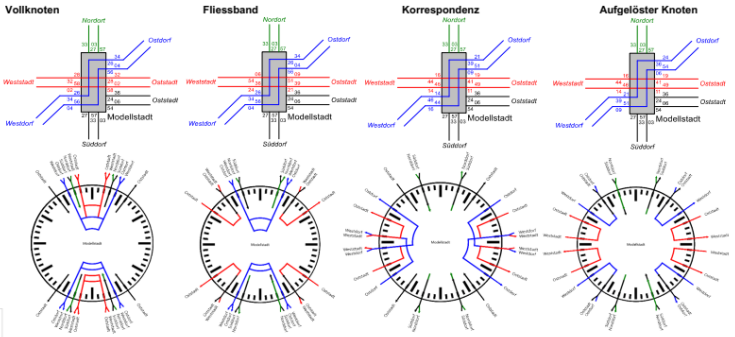












x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

Nachfragesteigerung: 1.32

Mindestumsteigezeit: 5 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge: 40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge: 100 [%]

Gewichtung der Minuten (Durchfahrt): 1
Gewichtung der Minuten (Umstieg): 1.14

Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

II.10 Modell II / 1.32 / 1.14 / 3

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8)	6.7	7.03	7.36	7.69	8.02	8.35	8
Fliessband (6)	6.91	8.28	9.64	11.01	12.37	13.74	6
Korrespondenz (4)	8.66	9.69	10.71	11.73	12.75	13.77	4
Aufgelöst (4)	8.14	9.39	10.64	11.9	13.15	14.4	4

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8)	6.44	6.83	7.22	7.61	8	8.39	8
Fliessband (6)	5.4	6.34	7.27	8.2	9.13	10.07	6
Korrespondenz (5)	6.84	7.37	7.89	8.42	8.94	9.46	5
Aufgelöst (5)	6.14	6.76	7.39	8.02	8.65	9.27	5

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	6.7	7.03	7.36	7.69	8.02	8.35	8+
Fliessband (6)	5.66	6.45	7.23	8.02	8.8	9.58	6
Korrespondenz (6)	4.96	5.4	5.84	6.28	6.72	7.16	6
Aufgelöst (5)	5.32	5.85	6.38	6.9	7.43	7.96	5

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8)	6.28	6.71	7.14	7.57	7.99	8.42	8
Fliessband (7)	4.41	4.86	5.32	5.77	6.23	6.68	7
Korrespondenz (5)	6.43	6.87	7.32	7.77	8.22	8.67	5
Aufgelöst (5)	5.62	6.05	6.49	6.93	7.36	7.8	5

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	6.01	6.11	6.2	6.3	6.39	6.49	8+
Fliessband (7)	4.19	4.36	4.53	4.7	4.87	5.04	7
Korrespondenz (6)	4.31	4.5	4.7	4.89	5.08	5.28	6
Aufgelöst (5)	4.41	4.54	4.67	4.8	4.93	5.06	5

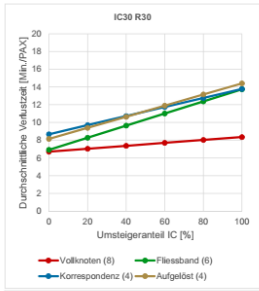
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	5.99	6.32	6.65	6.98	7.31	7.63	8+
Fliessband (7+)	4.67	5.02	5.37	5.72	6.06	6.41	7+
Korrespondenz (6)	4.76	5.11	5.45	5.79	6.14	6.48	6
Aufgelöst (6)	4.13	4.46	4.79	5.13	5.46	5.79	6

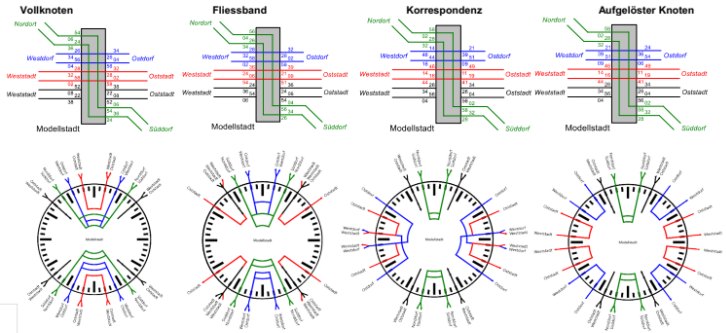
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8)	6.16	6.62	7.07	7.53	7.99	8.45	8
Fliessband (8)	4.13	4.41	4.69	4.98	5.26	5.54	8
Korrespondenz (5)	6.17	6.58	6.99	7.4	7.81	8.22	5
Aufgelöst (5)	5.44	5.87	6.3	6.73	7.16	7.59	5

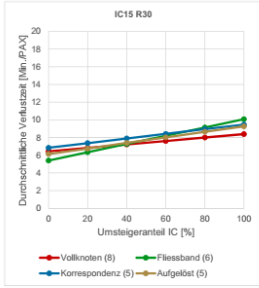
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	6.44	6.83	7.22	7.61	8	8.39	8+
Fliessband (8)	4.28	4.52	4.76	5	5.24	5.48	8
Korrespondenz (6)	4.5	4.85	5.21	5.56	5.91	6.26	6
Aufgelöst (5)	4.72	5.09	5.45	5.82	6.19	6.56	5

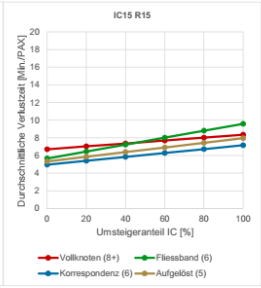
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	5.24	5.25	5.27	5.28	5.3	5.31	8+
Fliessband (8+)	4.08	4.17	4.26	4.35	4.44	4.52	8+
Korrespondenz (7)	4.19	4.3	4.41	4.52	4.63	4.73	7
Aufgelöst (7)	3.5	3.54	3.59	3.64	3.68	3.73	7

IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	5.5	5.83	6.16	6.49	6.82	7.14	8+
Fliessband (8+)	4.31	4.52	4.72	4.92	5.12	5.33	8+
Korrespondenz (7+)	4.67	4.96	5.26	5.55	5.85	6.14	7+
Aufgelöst (7+)	3.75	4.06	4.37	4.68	4.99	5.3	7+









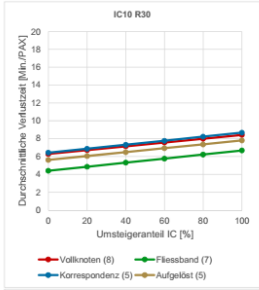
x-Achse: Umsteigeanteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

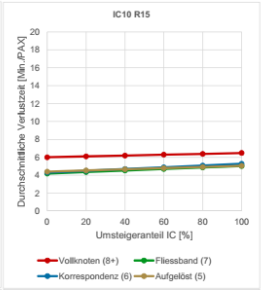
Nachfragesteigerung: 1.32

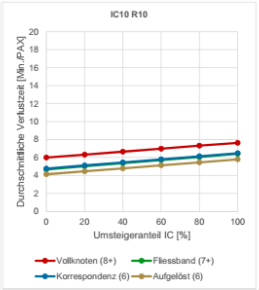
Mindestumsteigezeit: 3 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge: 40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge: 100 [%]

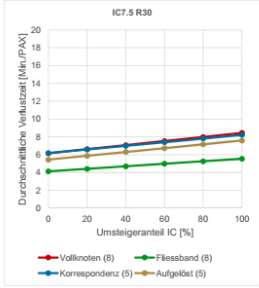
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt): 1
Gewichtung der Minuten (Umstieg): 1.14

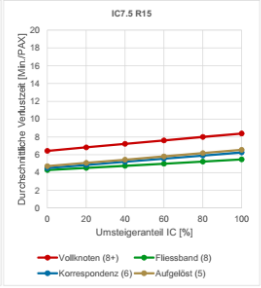
Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

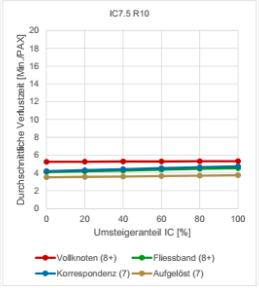


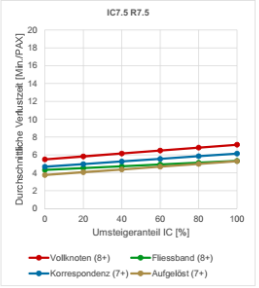












II.11 Modell III / 1.32 / 1.14 / 5

IC30 R30	11						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	6.82	7.25	7.67	8.1	8.53	8.95	6
Fliessband (4)	6.73	7.85	8.97	10.09	11.21	12.33	4
Korrespondenz (2)	7.49	8.34	9.19	10.04	10.89	11.74	2
Aufgelöst (2)	7.05	8.11	9.16	10.22	11.27	12.33	2

IC15 R30	21						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	6.32	6.68	7.04	7.4	7.76	8.12	6
Fliessband (4)	5.48	6.21	6.94	7.67	8.4	9.13	4
Korrespondenz (3)	6.38	6.94	7.5	8.06	8.62	9.18	3
Aufgelöst (3)	5.77	6.43	7.08	7.73	8.39	9.04	3

IC15 R15	22						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	5.59	5.89	6.19	6.49	6.79	7.09	6
Fliessband (4)	4.77	5.37	5.98	6.59	7.19	7.8	4
Korrespondenz (4)	4.89	5.36	5.82	6.29	6.75	7.22	4
Aufgelöst (3)	4.66	5.2	5.74	6.29	6.83	7.37	3

IC10 R30	31						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	6.03	6.33	6.62	6.92	7.21	7.51	6
Fliessband (5)	4.81	5.22	5.63	6.04	6.45	6.86	5
Korrespondenz (3)	5.95	6.4	6.85	7.3	7.75	8.2	3
Aufgelöst (3)	5.25	5.69	6.13	6.57	7	7.44	3

IC10 R15	32						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	5.05	5.12	5.2	5.28	5.35	5.43	6
Fliessband (5)	3.78	3.93	4.09	4.24	4.39	4.54	5
Korrespondenz (4)	4.26	4.47	4.68	4.89	5.1	5.31	4
Aufgelöst (4)	3.83	3.98	4.13	4.28	4.43	4.59	4

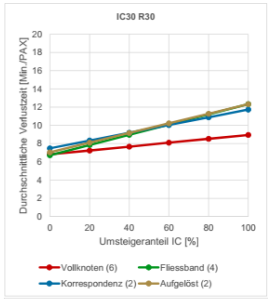
IC10 R10	33						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	4.72	4.95	5.17	5.39	5.61	5.83	8+
Fliessband (6)	3.57	3.88	4.18	4.49	4.8	5.11	6
Korrespondenz (6)	4.1	4.44	4.78	5.11	5.45	5.79	6
Aufgelöst (4)	3.66	3.98	4.31	4.64	4.97	5.3	4

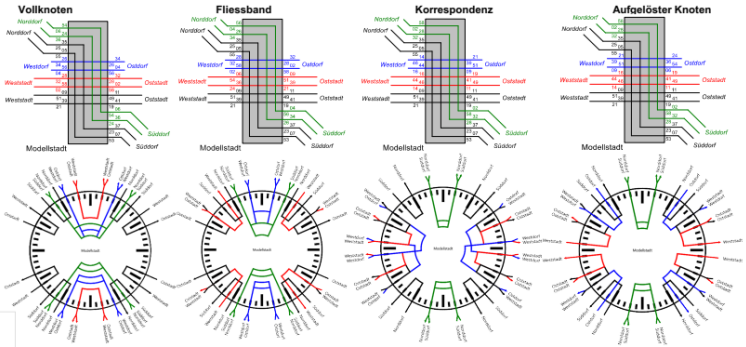
IC7.5 R30	41						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	5.97	6.31	6.64	6.97	7.31	7.64	6
Fliessband (6)	4.51	4.73	4.96	5.18	5.41	5.63	6
Korrespondenz (3)	5.73	6.15	6.57	6.98	7.4	7.82	3
Aufgelöst (3)	5.1	5.54	5.97	6.41	6.84	7.28	3

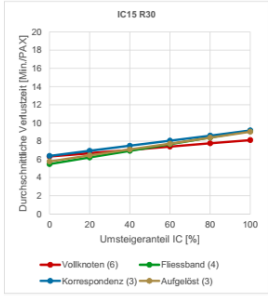
IC7.5 R15	42						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (6)	5.33	5.61	5.89	6.18	6.46	6.74	6
Fliessband (6)	3.81	4	4.19	4.38	4.57	4.76	6
Korrespondenz (4)	4.4	4.75	5.11	5.46	5.81	6.16	4
Aufgelöst (4)	4.08	4.45	4.82	5.19	5.55	5.92	4

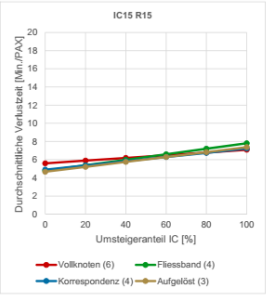
IC7.5 R10	43						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	4.26	4.25	4.24	4.23	4.22	4.21	8+
Fliessband (8)	3.09	3.16	3.22	3.28	3.35	3.41	8
Korrespondenz (7)	3.62	3.74	3.86	3.98	4.1	4.22	7
Aufgelöst (5)	3.12	3.18	3.25	3.31	3.38	3.44	5

IC7.5 R7.5	44						
IC-Umsteiger	*0*	*20*	*40*	*60*	*80*	*100*	*Gleise*
Vollknoten (8+)	4.69	4.92	5.15	5.39	5.62	5.86	8+
Fliessband (7+)	3.34	3.49	3.65	3.81	3.97	4.12	7+
Korrespondenz (7)	3.93	4.22	4.51	4.8	5.1	5.39	7
Aufgelöst (6)	3.28	3.59	3.89	4.2	4.5	4.81	6





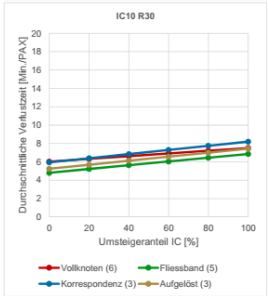


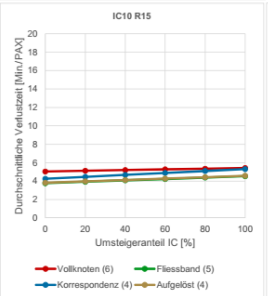


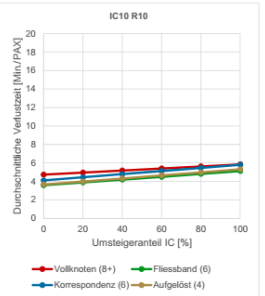
x-Achse: Umsteigeranteil IC auf andere Züge [%]
y-Achse: Minuten im Knoten pro Reisendem [Min./PAX]

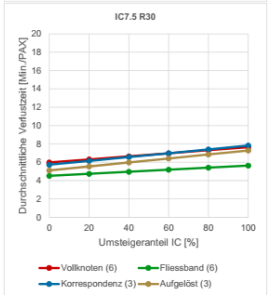
Nachfragesteigerung:	1.32
Mindestumsteigezeit:	5 [Min.]
Umsteigeanteil niederrangiger Züge:	40 [%]
Umsteigeanteil endender Züge:	100 [%]
Gewichtung der Minuten (Durchfahrt):	1
Gewichtung der Minuten (Umstieg):	1.14

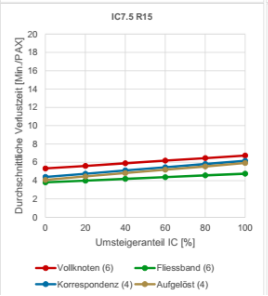
Erklärung "+" bei Anzahl Gleise:
Bei mindestens einer Linie befindet sich aufgrund ihres dichten Taktes und ihrer langen Halte-/Wendezeit zeitgleich mehr als ein Zug dieser Linie im Bahnhof. Ggf. sind weitere Gleise erforderlich.

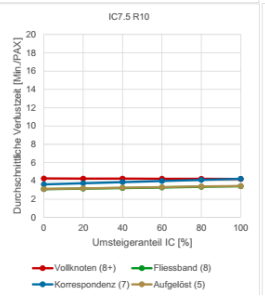


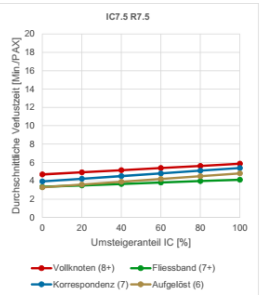












III Dokumentation Szenarien

Auf den nächsten Seiten sind die Netzgrafiken und für die vertieften Szenarien zudem die Gleisbelegungsgrafiken des Knotens Bern zu finden.

III.1 Netzgrafik Szenario AS35 ergänzt

III.2 Netzgrafik Szenario 15/30-FB

III.3 Netzgrafik Szenario 15/30-AG

III.4 Netzgrafik Szenario 15/15-VK

III.5 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-VK

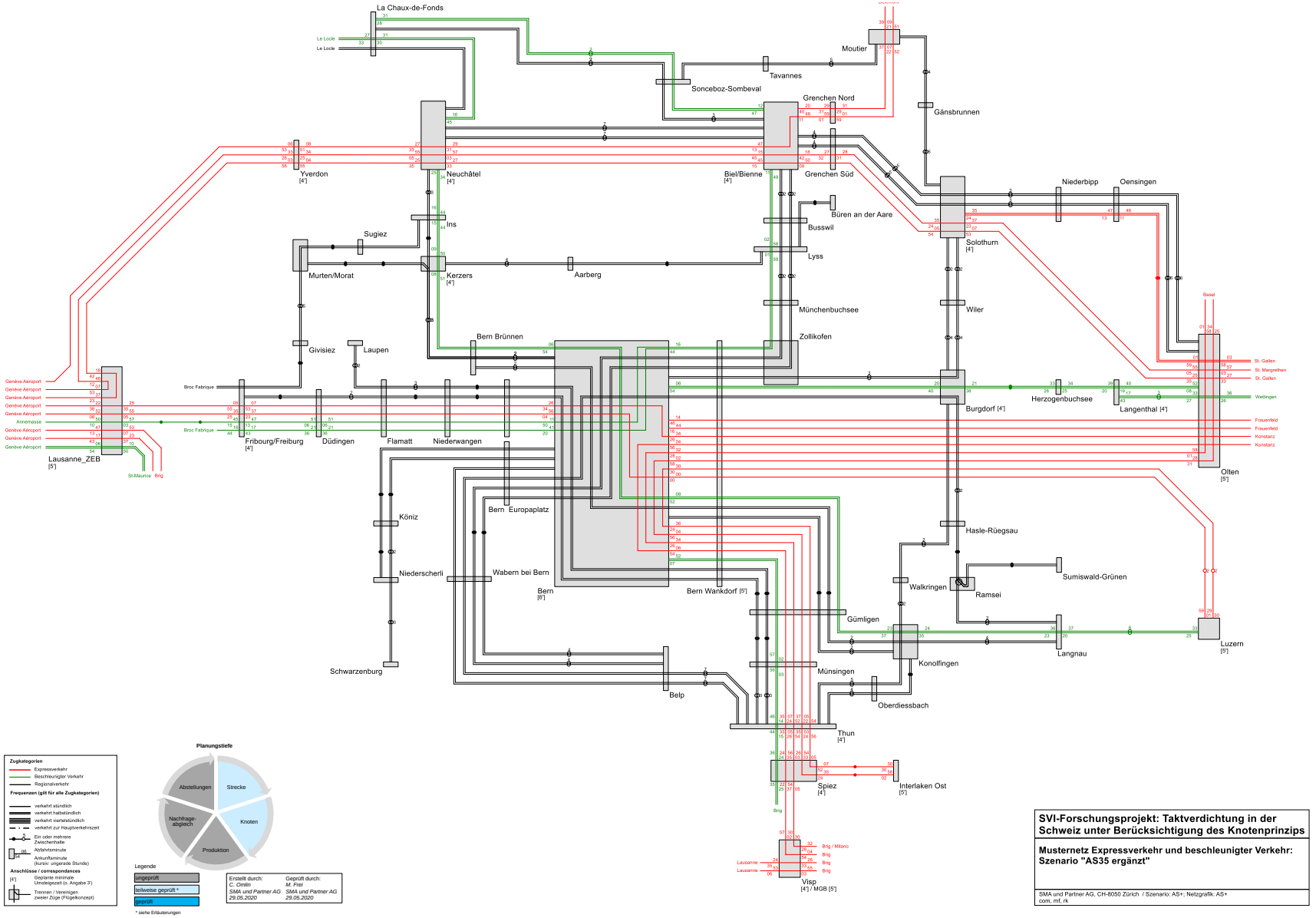
III.6 Netzgrafik Szenario 15/15-FB

III.7 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-FB

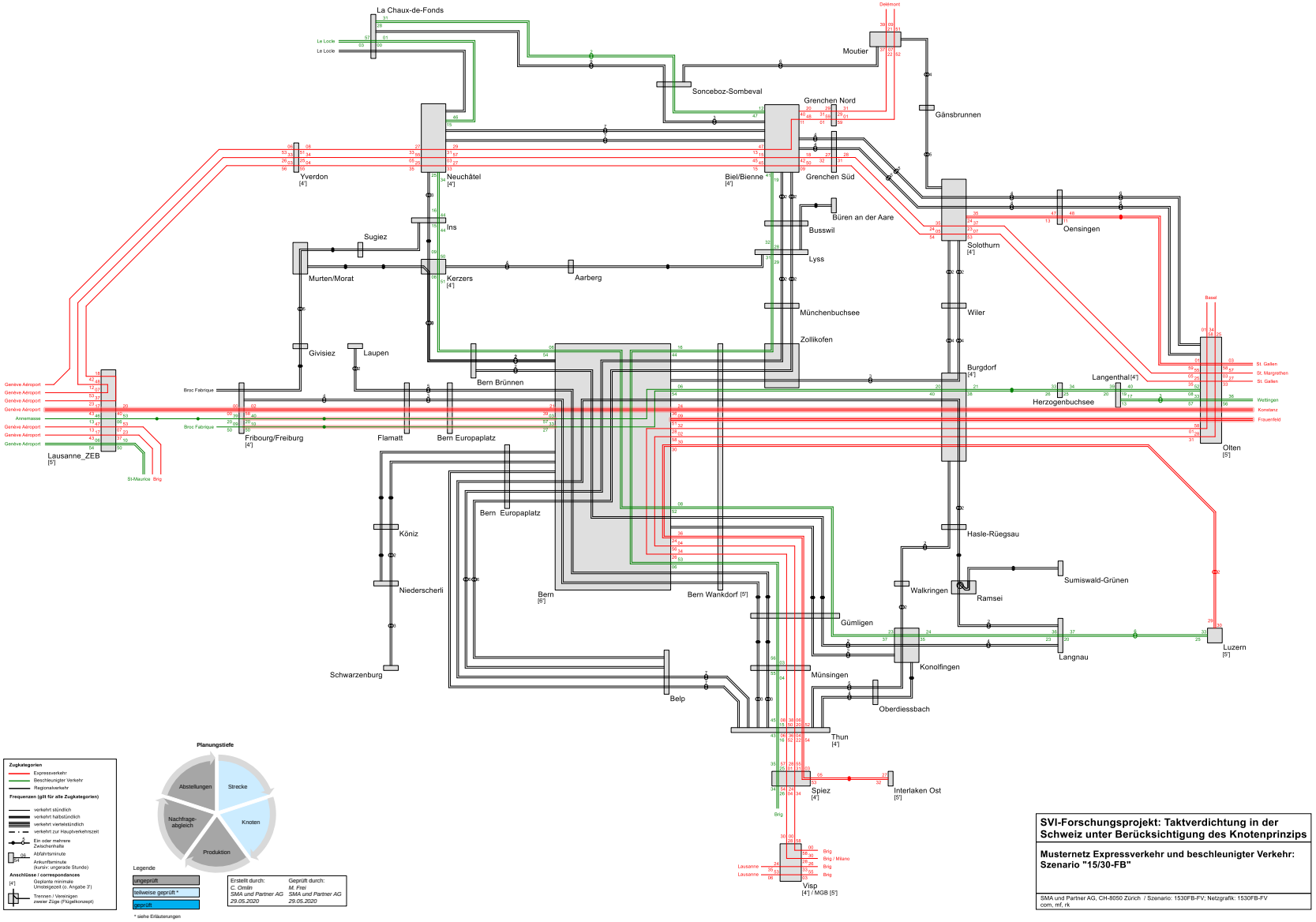
III.8 Netzgrafik Szenario 15/15-AG

III.9 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-AG

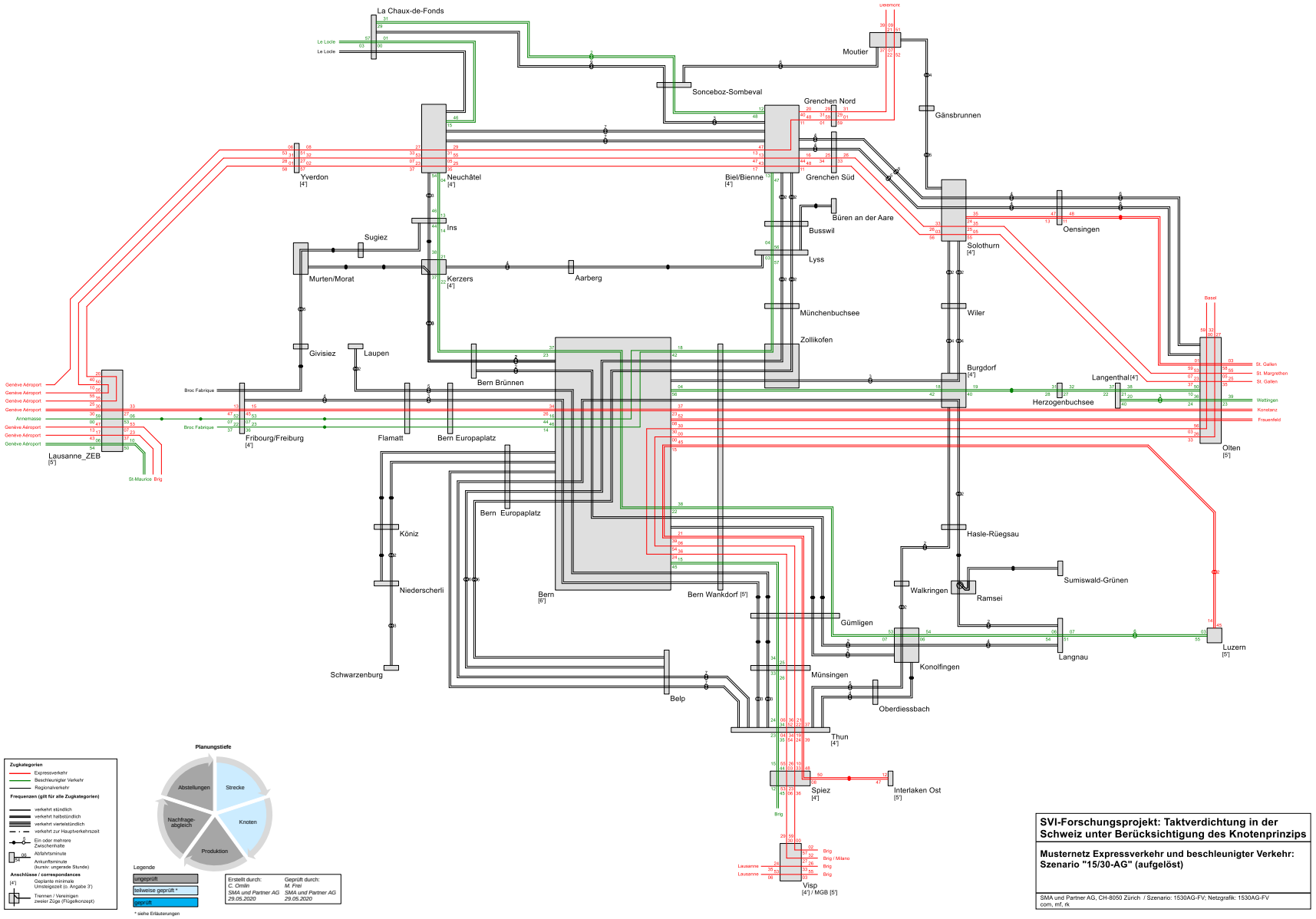
III.1 Netzgrafik Szenario AS35 ergänzt



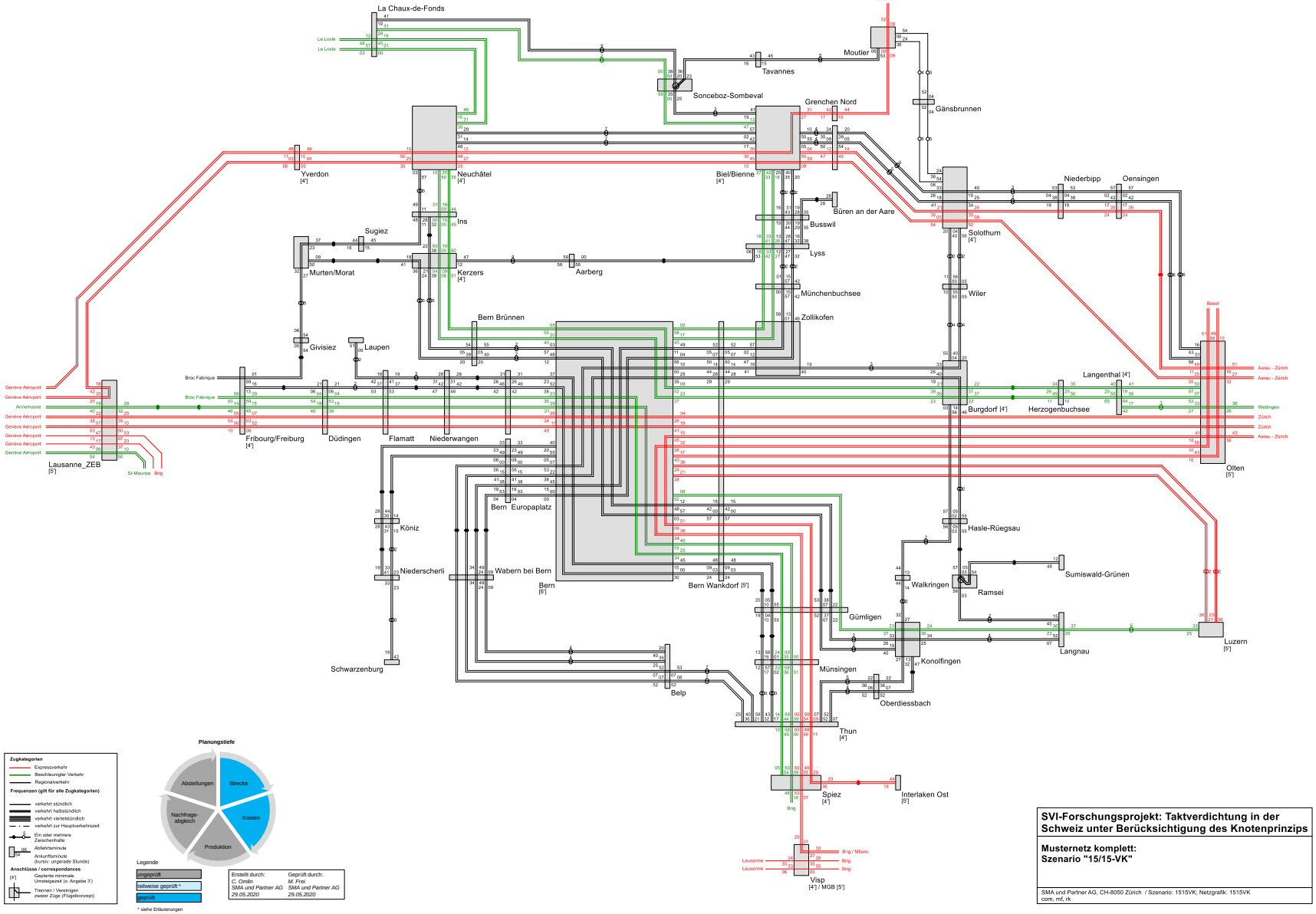
III.2 Netzgrafik Szenario 15/30-FB



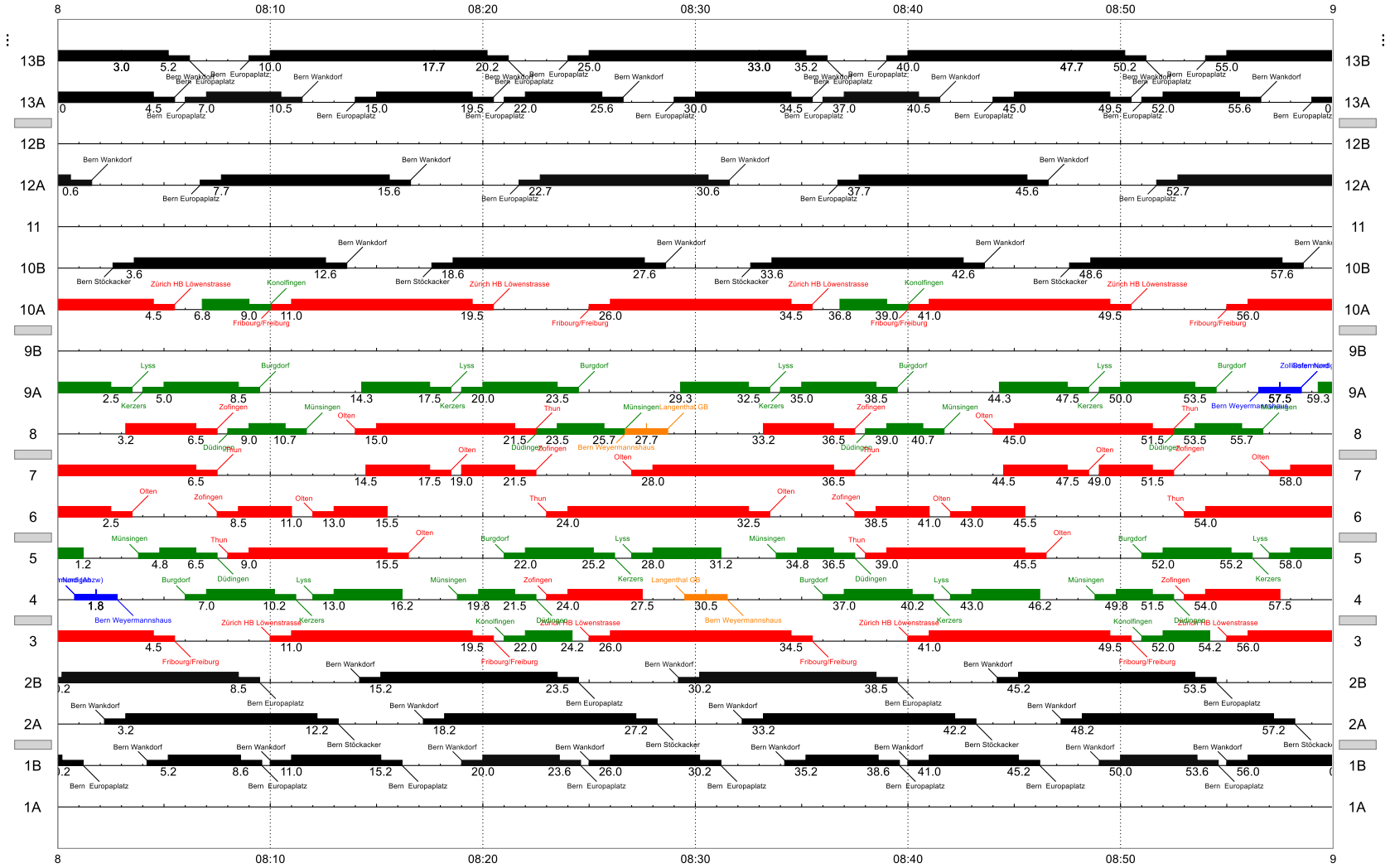
III.3 Netzgrafik Szenario 15/30-AG



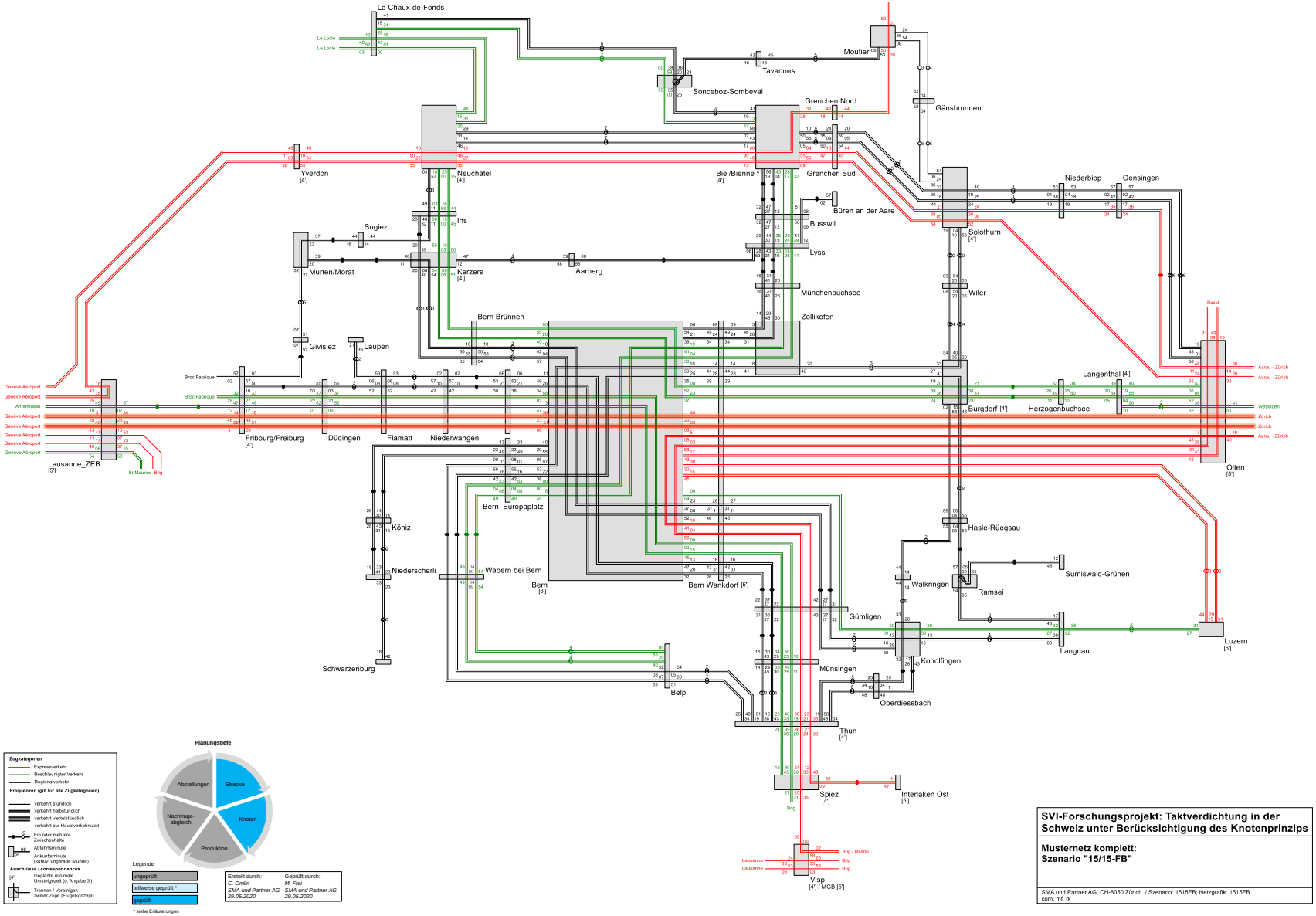
III.4 Netzgrafik Szenario 15/15-VK



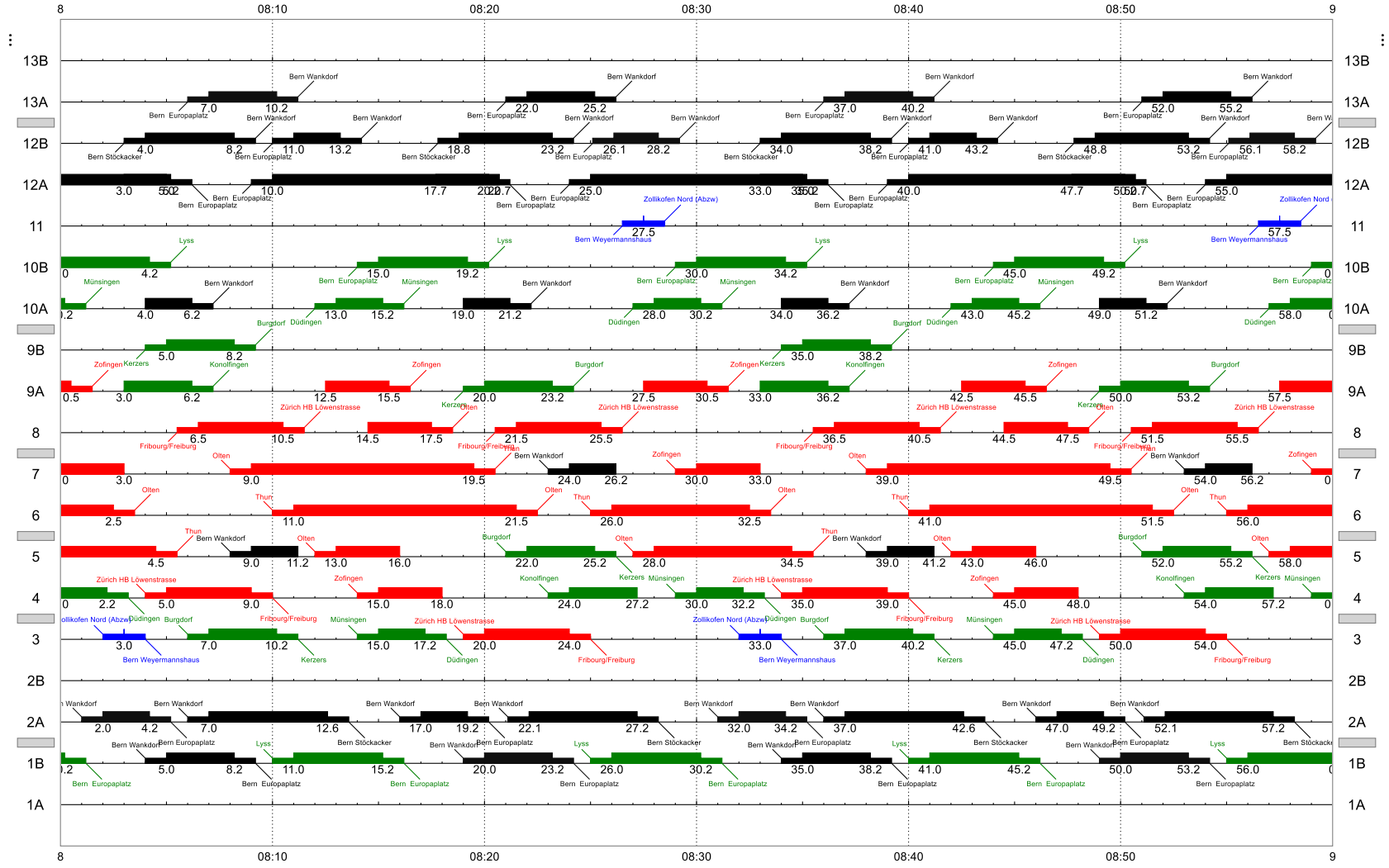
III.5 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-VK



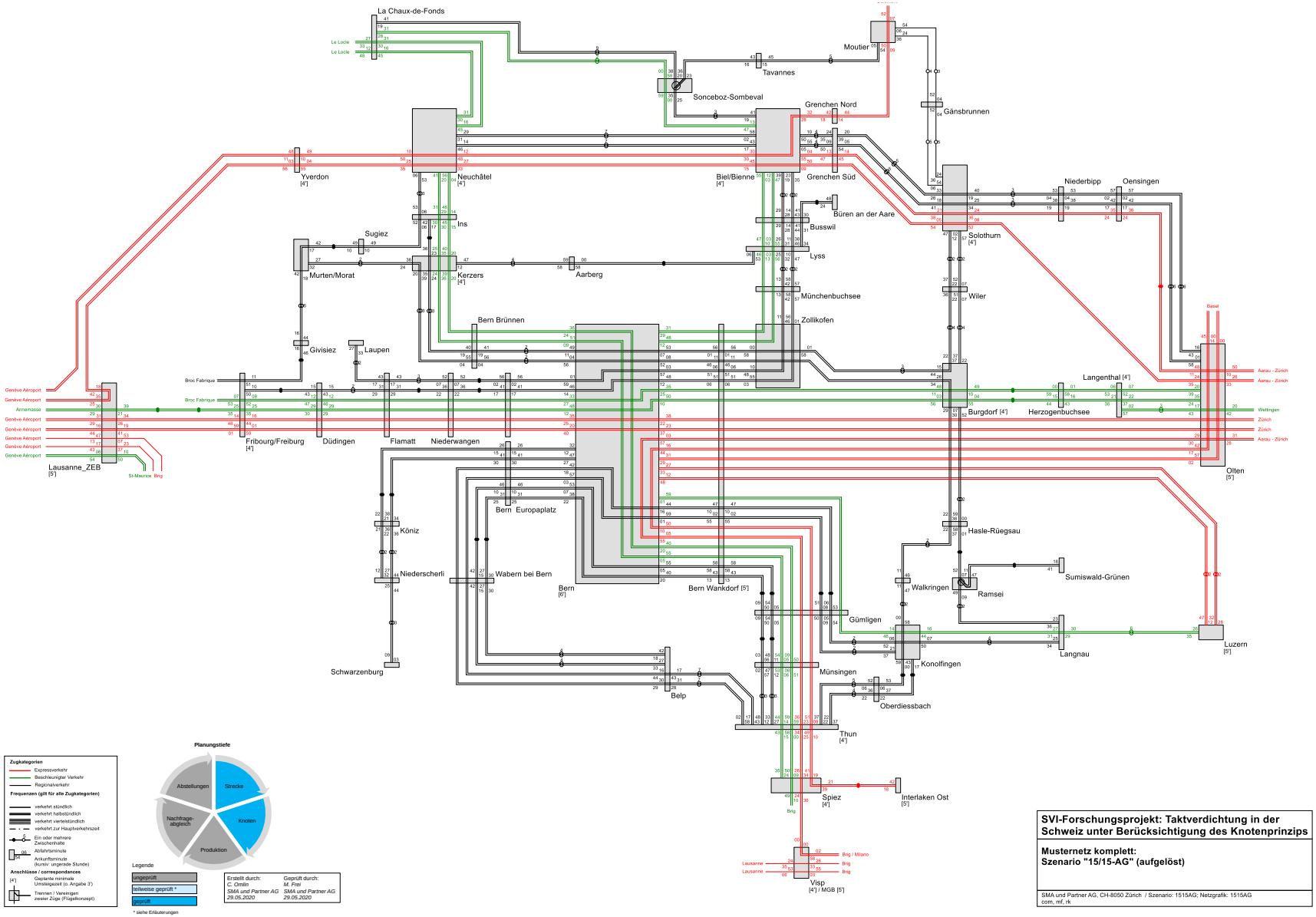
III.6 Netzgrafik Szenario 15/15-FB



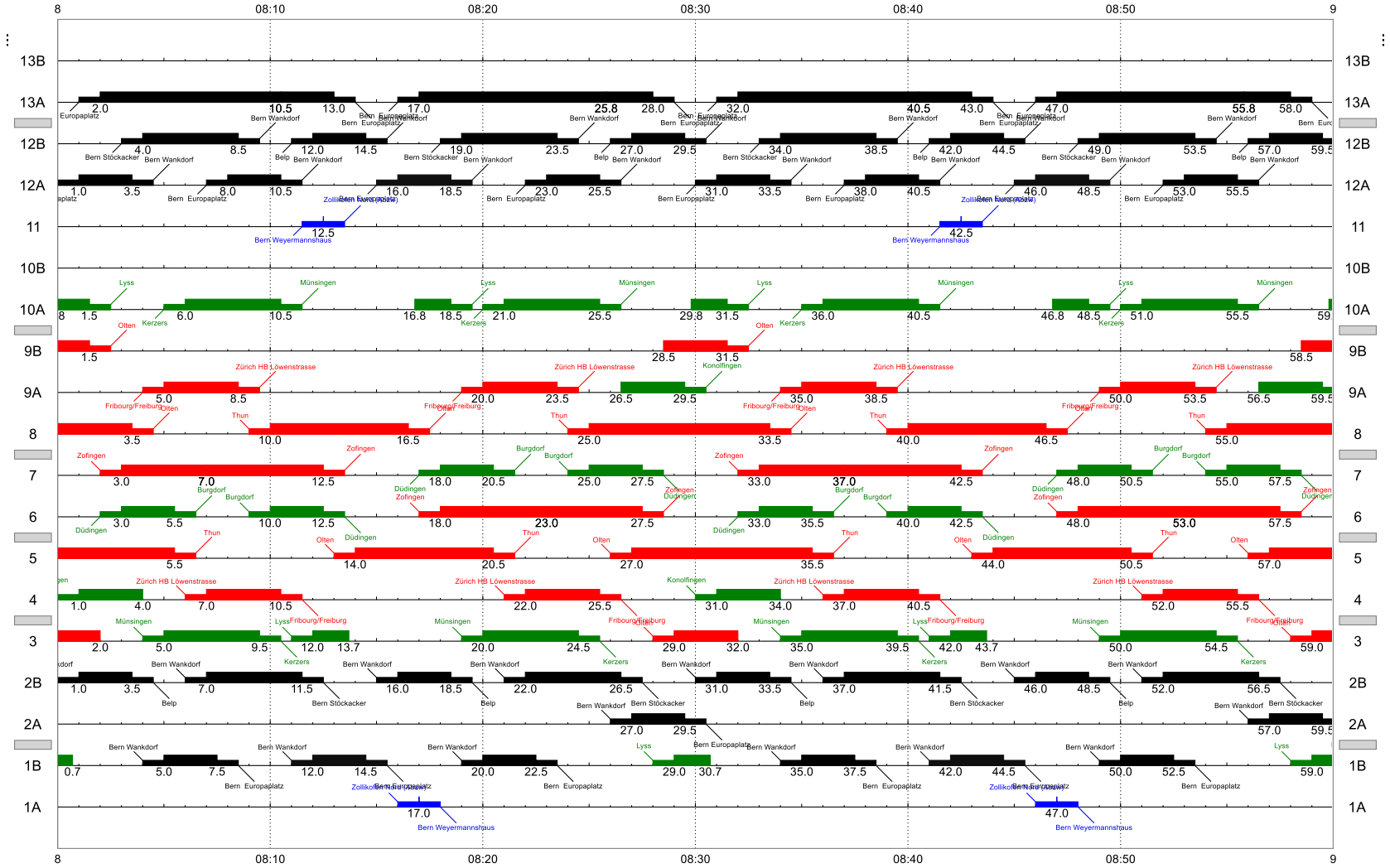
III.7 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-FB



III.8 Netzgrafik Szenario 15/15-AG



III.9 Gleisbelegung Bern Szenario 15/15-AG



Glossar

Begriff	Bedeutung
Anschlussspinne	Siehe Kapitel 2.2.1
Aufgelöster Knoten	Siehe Kapitel 2.2.2
Ausbauschritt 2025 (AS 2025)	Am 9. Februar 2014 hiess das Schweizer Stimmvolk mit 62 Prozent Ja-Stimmen die Vorlage für die Finanzierung und den Ausbau der Bahninfrastruktur FABI gut. Im Zusammenhang mit FABI wurde der Ausbauschritt 2025 des Strategischen Entwicklungsprogramms Bahninfrastruktur (STEP) verabschiedet. Er umfasst Ausbauten für 6.4 Mrd. Franken und wird parallel zum Programm ZEB (Zukünftige Entwicklung Bahninfrastruktur) realisiert. Mit dem Ausbauschritt 2025 können Engpässe im Eisenbahnsystem von SBB und Privatbahnen behoben und seine Kapazitäten erweitert werden. Damit kann die steigende Verkehrsnachfrage aufgefangen werden.
Ausbauschritt 2035 (AS 2035)	Das Schweizer Parlament hat den Ausbauschritt 2035 im Umfang von 12.89 Milliarden Franken in die Bahninfrastruktur bewilligt. Das Geld dient dazu, das Angebot auf stark überlasteten Strecken zu verbessern, Ausbauten bei Privatbahnen zu ermöglichen und für den Güterverkehr Express-Verbindungen zu realisieren. Der Ausbauschritt 2035 sieht insgesamt rund 200 Massnahmen vor. Zu den Grossprojekten gehören der Brüttener-Tunnel zwischen Zürich und Winterthur, der Ausbau des Bahnhofs Zürich-Stadelhofen sowie der Zimmerberg-Basistunnel II. Weitere grosse Massnahmen sind der Ausbau der Jurasüdfuss-Strecke zwischen Yverdon, Lausanne und Genf sowie eine Direktlinie Neuenburg–La Chaux-de-Fonds. Dazu kommen zahlreiche Ausbauten bei den Privatbahnen in allen Landesgegenden. Die Arbeiten für den Ausbauschritt erfolgten erstmals nach den Grundsätzen, die Volk und Stände mit der Vorlage zu Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur (FABI) 2014 beschlossen haben.
Bahn 2000	Bahn 2000 (französisch: Rail 2000 / italienisch: Ferrovia 2000) ist ein seit 1987 andauerndes, gross angelegtes Schweizer Eisenbahnprojekt der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) zur Qualitätssteigerung ihres Schienennetzes. Es beinhaltet etappenweise umzusetzende Massnahmen zur Beschleunigung und Verdichtung bestehender Verbindungen sowie zur Modernisierung des Rollmaterials. Nachdem 1987 der dazu gefasste Bundesbeschluss durch eine Volksabstimmung angenommen worden war, wurden in der 2004 abgeschlossenen ersten Etappe rund 130 Bauprojekte mit einem Budget von rund 5.9 Milliarden CHF umgesetzt. Das Projekt Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur (ZEB), welches ursprünglich «Bahn 2000, 2. Etappe» hiess, stellte das Nachfolgeprojekt dar. Der Ausbau nach ZEB wurde im Projekt Bahn 2030 geplant. Dieses wurde jedoch zugunsten der umfangreicheren und längerfristigen Planung des Projekts STEP eingestellt.
Bahnreform	Hauptziel aller Bemühungen zur Bahnreform in der Schweiz und in Europa ist es, die Bahn als Verkehrsträger aufzuwerten. Sie soll wettbewerbsfähiger und effizienter werden und einen grösseren Anteil der Gesamtverkehrsleistung erbringen. Die Revision des Eisenbahngesetzes im Jahr 1996 und die Bahnreformen haben zu einer schrittweisen Stärkung der schweizerischen Bahnen sowie zu einer Annäherung des bestehenden Systems an die Regelwerke der EU geführt. So wurden mit der Bahnreform 1 die SBB 1999 von einer Anstalt des Bundes in eine spezialgesetzliche Aktiengesellschaft umgewandelt, der Güterverkehr liberalisiert, die Infrastruktur (Eisenbahnnetz) und der Verkehr rechnerisch und organisatorisch getrennt und der diskriminierungsfreie Netzzugang eingeführt. Inhalte der Bahnreform 2 waren unter anderem die Revision der Sicherheitsdienste, die Gleichstellung der Transportunternehmen sowie die Weiterentwicklung der früheren Reformen. Hauptbestandteile der Bahnreform 2.2 waren die Übernahme der Sicherheits- und der Interoperabilitätsrichtlinie der EU und die rechtliche Verankerung von Ausschreibungen im Busbereich.

Behindertengleichstellungsgesetz (BehiG)	Das Bundesgesetz über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz, BehiG; SR 151.3) trat am 1. Januar 2004 in Kraft. Dazu gehören drei Verordnungen: die Verordnung über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsverordnung, BehiV; SR 151.31), und die Verordnung über die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs (VböV; SR 151.34) sowie die Verordnung des UVEK über die technischen Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs (VAböV; SR 151.342).
Fahrgastwechselzeit	Minimal notwendige Haltezeit, um das Ein-/Aussteigen zu ermöglichen
Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur (FABI)	FABI steht für «Finanzierung und Ausbau der Eisenbahninfrastruktur». Mit der 2014 erfolgten Zustimmung von Volk und Ständen wurde auf Verfassungsstufe ein neuer unbefristeter Bahninfrastrukturfonds verankert. Der Bundesrat hat die FABI-Verfassungsbestimmungen sowie die angepassten Bundesgesetzte und Verordnungen per Anfang 2016 in Kraft gesetzt. Die Arbeiten zur Umsetzung des mit FABI beschlossenen Ausbaus bis 2025 sowie die Planung der nächsten Ausbauschritte haben begonnen. FABI regelt zudem den etappenweisen Ausbau. Über die konkreten Projekte entscheidet jeweils das Parlament in einem Rhythmus von vier bis acht Jahren.
Fliessbandprinzip	Siehe Kapitel 2.2.4
Frequenz	→ Synonym für Takt
Haltezeit	Kommerzielles oder betriebliches Halten eines Zuges für eine bestimmte Zeit Umgangssprachlich versteht man unter Haltezeit, die Zeit, welche ein Zug von Ankunft bis Abfahrt an einem Perron steht. Die Haltezeit setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen: Minimal notwendige Haltezeit für den Fahrgastwechsel, Zusätzliche Haltezeit (z.B. für das Abwarten von Anschlüssen) und Zugabfertigungszeit
Integraler Taktfahrplan (ITF)	Fahrplan mit fixierten Reisezeiten zwischen Umsteigeknoten, an denen die Takte aller Linien koordiniert sind, so dass ein Umsteigen zwischen verschiedenen Linien möglich ist.
Knoten	→ Kurzform für Knotenbahnhof
Knotenbahnhof	Eine Station, bei der zwei oder mehrere Linien gleichzeitig halten und Umsteigebeziehungen auf die jeweils anderen Züge bestehen. Die Uhrzeit, zu der diese Umsteigebeziehungen bestehen, wird Knotenzeit genannt. Wird auch Taktknoten genannt.
Korrespondenz	Die Anschlussherstellung zwischen zwei Linien – oft Fernverkehrslinien – in einem Bahnhof, welche meist perrongleich realisiert wird. Beispiele sind die ICE-Richtungskorrespondenz in Mannheim oder die Fernverkehrslinien im Bahnhof Zürich Löwenstrasse.
Mobilität	Mobilität beschreibt die Beweglichkeit (Möglichkeit und Bereitschaft zur Bewegung) von Personen und Gütern im geographischen Raum.
Mobility Pricing	Eine von Distanz, Zeit und Verkehrsmittel abhängig unterschiedlich teure Mobilität. Mobility Pricing hat zum Ziel, Verkehrsspitzen zu brechen und eine gleichmässigere Auslastung der Verkehrsinfrastrukturen zu erreichen. Es ist ein verkehrsträgerübergreifendes Konzept, das Strasse und Schiene umfasst. Mobility Pricing geht mit der Digitalisierung einher. Forschung und Technik machen grosse Fortschritte. Um Verkehrsspitzen zu glätten, lohnt es sich ausserdem, weitere Massnahmen wie flexible Arbeitszeitmodelle, angepasste Unterrichtszeiten, Home Office oder Fahrgemeinschaften zu fördern.
Modal Split	Der Begriff Modal Split bezeichnet den Anteil der verschiedenen Verkehrsmittel am Personenverkehr insgesamt in der Verkehrsstatistik . Eine andere gebräuchliche Bezeichnung im Personenverkehr ist Verkehrsmittelwahl.
Nullsymmetrie	Siehe Kapitel 2.2.6

Polyzentrische Siedlungsentwicklung	Unter einer polyzentrischen Siedlungsentwicklung versteht man die Ausrichtung auf mehr als einen zentralen Ort. Während v. a. in stärker zentralistisch strukturierten Staaten oftmals eine dominierende Metropole die Herausbildung einer monozentralen Raumstruktur fördert, wofür z.B. radiale, auf einen Punkt gerichtete Hauptverkehrsachsen charakteristisch sind, weisen föderal organisierte Staaten öfter eine multizentrische (polyzentrische) Raumstruktur auf. Die Nachteile einseitiger Konzentrationserscheinungen auf der einen und großflächiger Entleerungstendenzen auf der anderen Seite werden dadurch teilweise vermieden.
Richtungsknoten	Siehe Kapitel 2.2.4
Schwachverkehrszeit	Im öffentlichen Verkehr (ÖV) wird oft ein unterschiedlicher Takt in verschiedenen Verkehrszeiten angeboten. Während die Schwachverkehrszeit in den Randstunden die Minimalversorgung sicherstellt, kommt die Normalverkehrszeit tagsüber zur Anwendung, in den Hauptverkehrszeiten werden die Fahrten zur Volllast verdichtet.
Starrer Fahrplan	→ Synonym für Taktfahrplan
Strategisches Entwicklungsprogramm Bahninfrastruktur (STEP)	Das Strategische Entwicklungsprogramm (STEP) Bahninfrastruktur ersetzt Bahn 2030 und ergänzt das Programm ZEB. Der Bund hat darin die Projekte in zwei Dringlichkeitsstufen eingeteilt und bildet daraus verschiedene Ausbauschritte. Der erste Ausbauschritt für die Zeit bis 2025 wurde vom Parlament beschlossen. Er enthält Projekte im Umfang von 6.4 Milliarden Franken. Für den zweiten Ausbauschritt bis 2035 hat das Parlament Investitionen von rund 12.89 Milliarden Franken beschlossen.
Symmetrie	Siehe Kapitel 2.2.6
Takt	Repetitives Verkehren eines Kurse zu den selben Minuten (z.B. alle 60, 30, 15 Minuten)
Taktfahrplan	Siehe Kapitel 2.2.7
Taktfamilie	Siehe «Taktzug»
Taktzug	Die in einer Taktfamilie zusammengefassten einzelnen, zu Taktminuten verkehrenden Züge einer Linie. Abgegrenzt werden sie von zu unregelmässigen Zeiten verkehrenden Einzelzügen.
Trassenkatalog	Auf Basis von Muster- resp. Referenzrollmaterial durchgeplante Fahrlagen, welche von einem EVU für die Durchführung einer Verkehrsleistung erworben werden können. Damit sind zwar individuelle Anforderungen nicht mehr möglich, es ist jedoch ein Maximum an Kapazität für das EIU umsetzbar.
Umsteigezeit	Die Zeit, welche benötigt wird, um einen Anschluss von einem Zug einer Linie auf den Zug einer anderen Linie herzustellen. Für die Planung von Netzen resp. in den Auskunftsmedien werden Anschlüsse anhand einer minimalen Umsteigezeit – teilweise unterteilt in perron- oder nicht perrongleich sowie in verschiedenen Bahnhofteilen – bestimmt.
Umwegfaktor	Der Umwegfaktor einer Verkehrsverbindung drückt das Verhältnis des kürzesten bzw. des gewählten Laufwegs zwischen zwei Knoten im Verhältnis zur Luftlinienentfernung dieser Knoten aus.
Verkehr	Verkehr ist die konkrete Umsetzung der Mobilität in Form von tatsächlichen Ortsveränderungen von Personen und Gütern unter Verwendung von Energie. Diese Verkehrsströme sind messbar.
Vollknoten	Siehe Kapitel 2.2.2

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung D	Explication F
AG	Aufgelöster Knoten	nœud dissous
AS 1..7	Arbeitsschritt	étape
AS 2035	Ausbauschritt 2035	étape d'aménagement 2035
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen	gestionnaire d'infrastructure ferroviaire
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen	entreprise de transport ferroviaire
FB	Fliessband	tapis roulant
FV	Fernverkehr	trafic à longue distance
GV	Güterverkehr	trafic de marchandises
HVZ	Hauptverkehrszeit	période de pointe
IC	Intercity	Intercity
IR	Interregio	Interregio
ITF	Integraler Taktfahrplan	cadencement intégral
KD	Korrespondenz	correspondance
LV	Langsamverkehr	mobilité douce
MIV	Motorisierter Individualverkehr	transport individuel motorisé
NG	Netzgrafik	graphique réticulaire
NVZ	Nebenverkehrszeit	période creuse de journée
ÖIV	Öffentlicher Individualverkehr	transport individuel public
ÖV	Öffentlicher Verkehr	transports publics
PAX	Passagier (Fahrgast)	voyageur
Pkm	Personenkilometer	voyageurs-kilomètres
RE	Regioexpress	Regioexpress
RK	Richtungsknoten	nœud directionnel
RV	Regionalverkehr	trafic régional
STEP	Strategischen Entwicklungsprogramms Bahninfrastruktur	Programme de développement stratégique de l'infrastructure ferroviaire
SVZ	Schwachverkehrszeit	période de faible trafic
Tkm	Tonnenkilometer	tonnes-kilomètres
VK	Vollknoten	nœud complet

Literaturverzeichnis

Nationale Literatur

[1] ARE, Bundesamt für Raumentwicklung (2016): **Verkehrsperspektiven 2040 – Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz**. Broschüre. Bern.

[2] ARE, Bundesamt für Raumentwicklung (2017): **Zukunft Mobilität Schweiz, UVEK-Orientierungsrahmen 2040**. Bern.

[3] BAV, Bundesamt für Verkehr (2012): **Langfristperspektive Bahn. Dokumentation zu den Grundlagen der Botschaft «Finanzierung und Ausbau der Bahninfrastruktur»**. Bern.

[4] BAV, Bundesamt für Verkehr (2018): **Botschaft / Entwurf Angebotskonzept zum Ausbauschritt 2035 des strategischen Entwicklungsprogramms Eisenbahninfrastruktur**. Bern.

[5] Breuer Steffen und Uekermann Ralf (2011): **ITF Deutschland 2020 – Ein Taktfahrplan für den deutschen Fernverkehr**; Eisenbahn Revue International. Luzern.

[6] Engel Rainer (2012): **Der integrale Taktfahrplan: Grenzen und Chancen**, dreiteilig in den Ausgaben 5/2012, 6/2012 und 7/2012 der Eisenbahn-Revue International. Luzern**.**

[7] Hürlimann Gisela (2006): **Die Eisenbahn der Zukunft; Modernisierung, Automatisierung und Schnellverkehr bei den SBB im Kontext von Krisen und Wandel**. Universität Zürich.

[8] Kaufmann Vincent, Stähli Luigi, Stohler Werner, Witter Regina (2009), **Etude de la pertinence du cadencement**, Cahier du LaSUR 18, EPFL – SMA, RFF. Lausanne.

[9] SMA und Partner AG, Rapp Trans AG (2015**): Längere Umsteigezeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten – Auswirkungen und Massnahmen**. SVI 2011/034. Zürich, Basel.

[10] Stähli Samuel (1990): **Zur Entwicklung des Taktfahrplans in der Schweiz**, in Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 30. Bern.

[11] Stohler Werner (2011): **Anschluss verpasst? Hat der Taktfahrplan eine Zukunft?** Tagungsband Stabil Mobil, November 2011, ETH und Universität Zürich.

[12] Stucki Dominic (2016): **Welches Verkehrssystem braucht die Schweiz? Eine Langfriststrategie für das Bahnsystem Schweiz**. Masterarbeit. ETH/IVT Zürich.

[13] Weidmann Ulrich (2015): **System- und Netzplanung des Personenverkehrs**. Skript zur Vorlesung. ETH/IVT Zürich.

Internationale Literatur

[14] BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): **Machbarkeitsstudie zur Prüfung eines Deutschland-Takts im Schienenverkehr**. Bonn.

[15] Clever Reinhard (1996): **Schnelligkeit oder Häufigkeit – Überlegungen zur Einführung des Integralen Taktfahrplans**. ZfV_1996_Heft_2.

[16] FGSV, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2001): **Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan**. Köln.

[17] Hüsing Martin (1999): **Die Flächenbahn als verkehrspolitische Alternative**. Wuppertal.

[18] Liebchen Christian (2005), **Fahrplanoptimierung im Personenverkehr – muss es immer ITF sein?**, Eisenbahn Technische Rundschau Nr. 54, November 2005. Hamburg.

[19] Pérez Marc und Guérin Fabien (2012), **Développement des réseaux, développement du cadencement?**, Le Rail N°96, octobre 2002. Paris.

[20] Rey Georges (2007): **Entwicklung des ITF Anfänge – Gegenwart – Zukunft**, anlässlich Eisenbahntechnisches Kolloquium TU Darmstadt vom 5. Juni 2007. Darmstadt.

[21] Schumann Tilo (2015): **Wirkung eines Deutschland-Taktes auf die Nachfrage im Schienen-personenverkehr**, European Transport Conference. Frankfurt am Main.

[22] Stohler Werner, Stähli Luigi Schröder Philipp (2012): **Geschichte/Entwicklungsperspektiven der langfristigen Fahrplan-Planungsprozesse in Europa**, ETR 7-8.2012. Hamburg.

[23] Stohler Werner, Stähli Luigi (2012): **A Timetable Revolution in France**, Railway Gazette International, 3-2012. London.

[24] Avelino, F. / Te Brömmelstroet, M. / Hulster G.: **The Politics of Timetable Planning**: Comparing the Dutch to the Swiss, Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2006. Amsterdam.

Weitere Literatur

[25] Bouchard J. Richard, Pyers E. Clyde: **Use of Gravity Model for Describing Urban Travel:** 1965. Washington D.C.

[26] Olesen Anne, Bützberger Patrick, Lieberherr Johannes (2016): „Modellierung und Bewertung von Fahrplanangeboten der Zukunft“ in Eisenbahn-Revue 1/2016. Luzern.

[27] Weis, C. (2006): **Routenwahl im ÖV**, Diplomarbeit,IVT, ETH Zürich

Projektabschluss

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Verker BAV

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 04.06.2015

erstellt / geändert am: 8.12.2020

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2018/005

Projekttitel: Taktverdichtung im Bahnverkehr der Schweiz unter Berücksichtigung des Knotenprinzips

Enddatum: 31.12.2020

Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Das Angebot des Eisenbahn-Fernverkehrs (in der Folge Expressverkehr genannt) in der Schweiz ist vom Knotensystem geprägt, welches durch abgestimmte Fahrplanzeiten in den Knotenbahnhöfen kurze Anschlüsse und damit netzweite stündliche resp. halbstündliche Reiseketten mit optimalen Reisezeiten ermöglicht. Im Zusammenhang mit einer künftigen weiteren Verdichtung des Expressverkehrs-Angebots auf 15-Minuten-Takte und dichter, wird in der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht, welches die Auswirkungen einer teilweisen oder vollständigen Auflösung von sog. Anschlussspinnen u.a. auf die netzweiten Reisezeiten und die Kapazitätsnutzung der Infrastruktur sind.

Die angewendeten Methoden umfassen eine Auslegeordnung der Grundlagen, die Analyse von Fallbeispielen, eine theoretische Modellauswertung, die Ausplanung und Wirkungsbeurteilung von Anwendungsfällen sowie die anschliessende Synthese.

Die bezüglich der Forschungsfrage relevanten Einflussgrössen umfassen die angebotsseitige Knotenausgestaltung (Vollknoten, Richtungsknoten, Korrespondenz, Fliessband oder aufgelöster Knoten) und den Knotentakt (sofern der Knoten nicht aufgelöst ist) sowie, bezüglich der im Knoten verkehrenden Linien, die Takte, die Anzahl unterschiedlicher Produktetypen und der Anteil der durchgebundenen Linien. Die Wirkung auf das Gesamtsystem Bahn lässt sich anhand von 14 Indikatoren messen.

Das Auflösen von Anschlussknoten des Expressverkehrs oder das Einführen von Fliessband-Linien in grösseren Knoten bei einer künftigen Verdichtung auf 15-Minuten-Takte ist, basierend auf den Ergebnissen der theoretischen Betrachtung sowie Anwendungsbeispielen, grundsätzlich prüfenswert. Die Angebotsqualität über alle Verbindungen ist mit Knotenauflösung gegenüber einem Vollknoten zumindest gleichwertig, wobei im Knoten durchgebundene Verbindungen von kürzeren Aufenthaltszeiten profitieren, einzelne Umsteigeverbindungen umgekehrt jedoch verlangsamt werden. Entsprechend sind die nachfragestärksten Verbindungen mit möglichst kurzen Standzeiten durchzubinden und weitere nachfragestarke Relationen dennoch weiterhin mit einem kurzen Anschluss zu planen. Weiter ist bei einer Knotenauflösung und bei Fliessband-Konzepten darauf zu achten, dass eine allfällige Ausdünnung des Angebots in Randstunden nicht zu einer Verschlechterung der Transportketten führt. Ein potenziell reduzierter Infrastrukturbedarf entsteht sowohl im Knoten, im Wesentlichen durch die kürzeren Standzeiten, als auch auf den Strecken durch die grösseren Freiheitsgrade bei der Trassenplanung. Bei letzterem ist jedoch zu beachten, dass die Qualität der Güterverkehrstrassen insbesondere auf Mischverkehrsstrecken reduziert werden könnte resp. umgekehrt der Vorteil einer effizienteren Kapazitätsnutzung bei angemessener Priorisierung von Güterverkehrstrassen verkleinert würde. Der höhere Freiheitsgrad bei der Trassenplanung ergibt jedoch auch das Potenzial – durch «Entbündelung» der Trassen – eine erhöhte Priorität auf die Betriebsstabilität und -qualität zu legen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Verkehr BAV

Zielerreichung:

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit konnte der angestrebte Erkenntnisgewinn im Zusammenhang mit einer künftigen weiteren Taktverdichtung und der Knotenausgestaltung des Expressverkehrs erzielt werden. Neben den relevanten Einflussgrössen und Wirkungen bezüglich Taktdichte und Knotenausgestaltung resp. -auflösung und einer Übersicht der in der Schweiz, Europa und Japan vorhanden und geplanten Konzepte inkl. deren Charakteristika liegen die theoretischen Zusammenhänge von Einflussgrössen und deren Wirkungen (insbesondere Verlustzeiten in Knoten) in Abhängigkeit von Takt und der Ausbildung von Anschlussknoten vor. Diese Ergebnisse wurden im Rahmen von repräsentativen Szenarien für Taktdichte und Knotenausgestaltung in einem Teilnetz der Schweiz und deren Auswirkungen auf die Angebotsqualität und den Infrastrukturbedarf bestätigt. Ergänzend liegen daraus die Zusammenhänge zu raumplanerischen Aspekten, zur Nutzbarkeit des Systems durch eingeschränkt mobile Personen und zur Kompatibilität mit neuen Mobilitätsformen und dem untergeordneten ÖV-Angebot, zum Ressourceneinsatz der Verkehrsunternehmen sowie zum Einfluss auf die Qualität des Schienengüterverkehrs vor. Die Arbeit liefert auf Basis der Synthese der Wirkungszusammenhänge ausserdem Empfehlungen zu Handlungsstrategien zur Konzeption des Bahnangebots des Expressverkehrs in der Schweiz im Kontext höherer Taktdichten.

Folgerungen und Empfehlungen:

Bei einer künftigen Verdichtung des Expressverkehrs auf 15-Minuten-Takte ist die Fortführung und Weiterentwicklung des Knotensystems mit ausgeprägten Anschlussknoten weiterhin ein zweckmässiger Weg. Die Auflösung von Anschlussknoten und ein Fliessband-Prinzip in dafür geeigneten Knoten sind zusätzliche und vertieft zu prüfende Optionen bei der Konzeption der künftigen Struktur des Expressangebots.
Die Betrachtung und der Vergleich von Varianten mit / ohne Knotenauflösung resp. mit Fliessband-Linien sollte in Betracht gezogen werden, falls der geeignete Anwendungsbereich gegeben ist. Die Varianten können zuerst je Knoten geprüft und im Anschluss netzweit ausgeplant und optimiert werden. Die variantenspezifischen Vorteile sind gezielt auszunutzen. Die Evaluation von Konzepten soll neben Angebotskriterien auch Infrastruktur und den Bahnbetrieb (insbesondere Kosten und Stabilität) berücksichtigten, da die Stärken / Schwächen der Ansätze in unterschiedlichen Bereichen liegen (Betrachtung Gesamtsystem Bahn). Bei einer Knotenauflösung oder Fliessband-Konzepten in grösseren Knoten sind zu einem frühen Zeitpunkt im Planungsprozesses die Anschlüsse in peripheren resp. kleineren Knoten zu optimieren sowie Randstundenkonzepte und die Trassierung des Güterverkehrs zur Vermeidung von Qualitätseinbussen mitzubetrachten.

Publikationen:

keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Frei Vorname: Michael

Amt, Firma, Institut: SMA und Partner AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Verkehr BAV

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Ziel der Forschungsarbeit bestand darin, für das Schweizerische Bahnknotensystem aufzuzeigen, ob und gegebenenfalls ab welchem Takt eine Anschlussspinne ihren netzweiten Nutzen verliert und aufgelöst werden könnte. Die Untersuchung sollte dabei auch realistische Szenarien der Ausweitung eines hohen Taktes (15 Minuten oder weniger) im Regional- und im Fernverkehr zugrunde legen.
Diese Ziele wurden in hohem Mass erreicht.
Es wurde auf Basis eines Modellsystems und übertragen auf ein Teilnetz des Schweizerischen Bahnsystems aufgezeigt, welche angebotsseitigen, nachfrageseitigen und infrastrukturellen Wirkungen unterschiedliche Knotenausgestaltungen (Vollknoten, Richtungsknoten, Korrespondenz, Fliessband oder aufgelöster Knoten) mit zunehmender Taktdichte ergeben.
Die Forschungsarbeit begrenzt sich auf das Bahnsystem, der nachgelagerte öffentliche Verkehr (Tram, Bus, etc...) wurde nur generisch behandelt und nicht explizit berücksichtigt.
Die Arbeit erfolgte mit hoher fachlicher Fertigkeit und Sorgfalt. Die Balance zwischen übergeordneter Sichtweise und detaillierter Fachtiefe wurde vorbildlich gehalten. Für einzelne Aspekte wurden zweckmässige Vereinfachungen und Modellbetrachtungen gewählt, aus denen Indizien und allgemeingültige Aussagen abgeleitet werden konnten.
Der Einbezug der Begleitkommission erfolgte adäquat. Deren Inputs wurden vollwertig in die Arbeit aufgenommen.

Umsetzung:

Den Einstieg in die Fragestellung bildet eine ausführliche systematische Darlegung der Taktfahrplan-Komponenten und der spezifischen Fachbegriffe. Als Messgrösse der Wirkung von Knotenausgestaltungen auf das Gesamtsystem Bahn werden aus den übergeordneten Zielen des Bundes 14 Indikatoren abgeleitet. Diese bilden ein universelles Bewertungsraster und lassen sich auf andere Fragestellungen übertragen.
Die Entwicklung des methodischen Ansatzes erfolgt über eine internationale Recherche zu vorhandenen Knotenausgestaltungen und einer Beurteilung derer Vor- und Nachteile und derer Übertragbarkeit auf das Schweizerische Bahnknotensystem. In einer theoretischen Betrachtung werden charakteristische Knotenausgestaltungen auf Modellknotentypen übertragen und in einer nachfolgenden praxisnahen Betrachtung auf ein Teilnetz des Schweizerischen Bahnsystems angewandt und bewertet. Diese Vorgehensweise ist für andere Fragestellung sehr gut adaptierbar, sie setzt jedoch dein Einsatz entsprechender Fach-Software voraus.

weitergehender Forschungsbedarf:

Als Weiterentwicklung der Arbeit bietet sich eine netzweite Betrachtung mit einem Fokus auf die Minimierung und / oder Vereinfachung der Infrastruktur sowie mit höherer Priorisierung der Trassierung des Güterverkehrs an. Ebenso wäre in einer weiterführenden Forschungsarbeit eine Wirkungsbeurteilung unter Einbezug des nachgelagerten öffentlichen Verkehrs (Tram, Bus, etc...) zu verfolgen.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein Einfluss

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Jermann Vorname: Jörg

Amt, Firma, Institut: Rapp Trans AG, Hochstrasse 100, 4018 Basel

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

SVI Publikationsverzeichnis

Das Publikationsverzeichnis der SVI-Forschungsarbeiten kann unter www.svi.ch (Forschung → Forschungsprogramm → Stand der Forschung) heruntergeladen werden.