

Perspektive Bahn 2050
Kernsatz 3

23. November 2021
Öffentlich

Version: 1-00

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
2	Ausgangslage und Ziel.....	3
3	Vorgehen und Methodik.....	4
3.1	Arbeitsschritte.....	4
3.2	Gegenstand der Studie	4
3.2.1	Bearbeitungstiefe und Verkehrsarten	4
3.2.2	Perimeter.....	5
3.2.3	Betrachtungshorizonte	6
3.3	Grundlagen.....	6
3.4	Methodik Phase 1	7
4	Segmente und Hebel	8
4.1	Segmente	8
4.2	Hebel.....	9
5	Verlagerung und Wirkung	11
5.1	Verlagerungspotenziale nach Segmenten.....	11
5.1.1	Nach Verkehrsaufkommen	12
5.1.2	Nach Verkehrsleistung.....	12
5.2	Verlagerungspotenziale nach Hebel.....	13
5.3	Zwischenfazit und Testszenarien.....	14
5.4	Auswirkungen Energie und CO2 sowie induzierter Verkehr	15
5.4.1	Auswirkungen auf den Energieverbrauch.....	16

Perspektive Bahn 2050
Kernsatz 3

5.4.2	Auswirkungen auf die CO2-Emissionen	16
5.4.3	Induzierter Verkehr.....	16
5.5	Fazit Phase 1	16
6	Referenzfall und Szenarien.....	18
6.1	Übersicht und Vorgehen	18
6.1.1	Definitionen	18
6.1.2	Nachfrage und Kapazität	18
6.1.3	Angebotsqualität	18
6.1.4	Infrastrukturkosten	19
6.1.5	Vorgehensschritte	20
6.2	Referenz.....	21
6.3	Szenario 1 «Kapazität»	22
6.4	Szenario 2 «Qualität und Kapazität»	24
7	Auswirkungen.....	28
7.1	Wichtigste Kennzahlen.....	28
7.2	Zwischenfazit aus Phase 2	29
7.2.1	Kapazität für Bewältigung der Nachfrage bei Verdoppelung ÖV-Anteil	29
7.2.2	Angebotsqualität für eine Verdoppelung des ÖV-Anteils	29
8	Schlussfolgerungen.....	30
9	Verzeichnisse	32

Perspektive Bahn 2050
Kernsatz 3

Anhänge

Modal Split Methodik	1
Induzierter Verkehr Methodik	2
Segmente Definition	3
Test 16 Resultierendes Mengengerüst	4
Netzgrafiken.....	5
Dokumentation Szenario 1	6
Dokumentation Szenario 2	7

1 Zusammenfassung

Das Bundesamt für Verkehr erarbeitet die Perspektive Bahn 2050. Grundlage dafür bilden Kernsätze, deren Auswirkungen in separaten Studien untersucht wurden. Einer der Kernsätze lautet: «Im Personenverkehr verdoppelt sich der Bahnanteil am Gesamtverkehr». SMA und Partner AG hat für diesen Kernsatz untersucht, wie hoch das Verlagerungspotenzial von der Strasse auf den Öffentlichen Verkehr (ÖV) alleinig mit Massnahmen beim Angebot ist, welche Angebotsmerkmale dazu in welchem Umfang verbessert werden müssten und welche Auswirkungen die Erfüllung des Kernsatzes auf das Bahnsystem hätte.

In einer ersten Phase wurde das theoretische Verlagerungspotenzial untersucht. Das Potenzial war nach Verkehrssegmenten und nach den wesentlichen Angebotsmerkmalen, d.h. Angebotsdichte, Umsteigehäufigkeit und Reisezeit zu differenzieren. Basis für diese Betrachtungen waren die Daten des aktuellen nationalen Personenverkehrsmodells. Mit einem Logit-Ansatz konnte die Änderung der Verkehrsmittelwahl der gesamten Verkehrsnachfrage (abgebildet in 50 Mio. Quell-Ziel-Paaren) bei sich ändernden ÖV-Widerständen ermittelt werden und so die nötige Verbesserung des ÖV-Angebots quantifiziert werden.

Grundsätzlich hat die Verkürzung der Reisezeiten beim ÖV die grösste Verlagerungswirkung neben neuen Direktverbindungen und höheren Verbindungsdichten.

Das grösste Potenzial für eine Verlagerung der Verkehrsleistung (Personenkilometer) vom MIV zum ÖV besteht mengenmässig bei mittleren Distanzen und beim Verkehr zwischen den Städten. Bezüglich Verkehrsaufkommen (Anzahl Wege) besteht das grösste Verlagerungspotenzial bei kurzen Distanzen (unter 10 km). Bei kleinerer Gesamtverkehrsnachfrage besteht zudem auch auf langen Distanzen ins Ausland ein relevantes Verlagerungspotenzial.

In der zweiten Phase wurden Fahrplankonzepte in Szenarien geplant, in welchen die für die Verlagerung nötigen Angebotsverbesserungen ganz oder teilweise umzusetzen waren. Die entsprechenden Kennwerte aus dem betrachteten Musternetz wurden toolunterstützt auf das gesamte Schweizer Bahnnetz projiziert.

Zur Bewältigung der Nachfrage bei einer Verdoppelung des ÖV-Anteils sind schweizweit Infrastrukturmassnahmen bei der Bahn im Umfang von geschätzt 20 bis 30 Mia. CHF erforderlich. Mit den damit möglichen Angebotsverbesserungen allein wird jedoch noch keine ausreichende Verlagerung bewirkt, um den ÖV-Anteil zu verdoppeln.

Für die Verdoppelung des ÖV-Anteils ausschliesslich durch Angebotsmassnahmen müssten alle Angebotsmerkmale weitreichend verbessert werden, z.B. mit

einer Kombination von kürzeren Reisezeiten (durchschnittlich -24%), weniger Umsteigevorgängen (-40%) und kürzerer Taktfolge (-40%). Eine solche Verbesserung der Angebotsqualität würde bei der Bahn schweizweit zwischen 150 und 200 Mia. CHF an Infrastrukturausbauten erfordern (mit der heutigen Betriebsform und -technologie). In diesem Fall steigt die Angebotsdichte deutlich stärker als die Nachfrage, wodurch kleinere Gefässgrössen (d.h. kürzere Züge) einzusetzen wären.

Die das Bahnsystem bestimmende Grösse bei der Verlagerung ist somit nicht die Kapazität, sondern die angestrebte Angebotsqualität.

Die Studie stützt sich auf Grund des gesetzten Rahmens auf vereinfachende Methoden. Im Hinblick auf die weitere Konzeption des Schweizer Bahnsystems kann erst die Ausplanung eines ausbalancierten Konzepts für die ganze Schweiz und darauf aufbauend eine Modellierung des Gesamtverkehrs detaillierte Aussagen zur Wirkungsbeurteilung liefern. Dabei ist unter anderem das effizienzsteigernde Potenzial von innovativen Ansätzen bei Betriebsform und -technologie auszuloten, der Zielkonflikt zwischen mehr Direktverbindungen und einer Minimierung der betrieblichen Komplexität abzuwägen und schliesslich, aus übergeordneter Sicht, ein Optimum unter Berücksichtigung von Massnahmen ausserhalb des Angebots und des Bahnsystems zu finden.

2 Ausgangslage und Ziel

Die Perspektive Bahn 2050 bildet die Planungsgrundlage für die nächsten Ausbauschritte der Eisenbahninfrastruktur. Die Erarbeitung erfolgt durch das Bundesamt für Verkehr in den drei Stufen: Kernsätze (Definition und Auswirkungen), Festlegen der Stossrichtungen und Konkretisierung auf Korridorebene.

In Stufe 1 wurden bisher 8 Kernsätze definiert. Die Kernsätze sind in Studien bezüglich ihrer Auswirkungen und des Potenzials zu prüfen. In der vorliegenden Studie wird der Kernsatz 3 untersucht:

«Im Personenverkehr verdoppelt sich der Bahnanteil am Gesamtverkehr»

Ziel dieser Studie zum Kernsatz 3 ist die Beantwortung der folgenden Fragestellungen:

- Wie hoch ist das Verlagerungspotenzial von der Strasse auf die Schiene mit alleinigen Massnahmen beim Bahnangebot? Welche Massnahmen sind dazu geeignet?
- Welche Auswirkungen auf die Bahn hätte eine vollständige oder teilweise Erfüllung des Kernsatzes 3?

Anzumerken ist, dass kein entsprechendes Verlagerungsziel definiert wurde, sondern anhand der Aussage des Kernsatzes das Verlagerungspotenzial abgeschätzt werden soll. Die Verdoppelung wird in der vorliegenden Studie sowohl bezüglich Verkehrsaufkommen wie auch bezüglich Verkehrsleistung untersucht.

Die Ergebnisse dieser Studie und der weiteren Kernsätze bilden die Grundlage für die nachfolgende Ausarbeitung der Stossrichtungen.

3 Vorgehen und Methodik

3.1 Arbeitsschritte

Die Fragestellung ist zweigeteilt, entsprechend erfolgt die Bearbeitung in zwei Phasen. In Phase 1 werden die Verlagerungspotenziale und in Phase 2 die Auswirkungen der Verlagerung untersucht.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Phase, die einzelnen Arbeitsschritte sowie die Dokumentation in diesem Schlussbericht.

Phase	Arbeitsschritt	Kapitel
1	1: Grundlagen und Rahmen der Studie	2
	2: Segmentierung	3
	3: Identifikation Hebel	3
	4: Ermittlung Verlagerungspotenziale	4
	5: Aggregation, Emissionen, Energie	4
2	6: Definition Referenzfall und Szenarien	5
	7: Konzeption Angebot und Infrastruktur	5
	8: Ermittlung Wirkung	5 und 6
	9: Synthese	7

Tabelle 1 Phasen, Arbeitsschritte und Kapitelübersicht

3.2 Gegenstand der Studie

3.2.1 Bearbeitungstiefe und Verkehrsarten

In Phase 1 werden die Nachfragedaten sämtlicher Quelle-Ziel-Relationen gemäss Nationalem Personenverkehrsmodell (NPVM) auf Ebene der Matrizen für den Personenverkehr im öffentlichen Verkehr (ÖV) inkl. Anpassungen gemäss Verlagerungshebel und den übrigen Verkehr (unverändert belassen) berücksichtigt und in Abhängigkeit der betrachteten Hebel und Segment vereinfacht neu berechnet. Dabei wird Schienenverkehr mit Öffentlichem Verkehr gleichgesetzt. Diese erfolgt überwiegend aus praktischen Gründen: Auf Ebene der NPVM-Nachfrage-Matrizen liegt keine Unterscheidung nach ÖV-Bahn und übrigen ÖV vor.

Die Angebotsqualität der anderen Modi (motorisierter Individualverkehr, Velo- und Fussgängerverkehr) wird unverändert belassen, gleich wie die Kosten für die Nutzer.

In Phase 2 werden je nach Perimeter (vgl. unten) berücksichtigt:

- Im Untersuchungsperimeter: Mengengerüst und Planung Angebot Personen- und Güterverkehr, unverändert gemäss Ausbausritt 2035 (AS35) sowie Infrastrukturbedarf
- Im Einflussperimeter: Mengengerüst Personen- und Güterverkehr (soweit für Kapazität relevant und Mengengerüst unverändert wie im Angebotskonzept zum AS 2035)
- Schienen Netz Schweiz: Hochrechnung der Kennwerte aus dem Untersuchungsperimeter anhand Streckenkilometer

3.2.2 Perimeter

In Phase 1 erfolgt eine Betrachtung des gesamten ÖV der ganzen Schweiz inkl. dem grenzüberschreitendem Verkehr, soweit im Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) enthalten. Das entspricht einer vollständigen Abbildung der Daten für die ganze Schweiz inkl. der im Ausland befindlichen Zellen des NPVM.

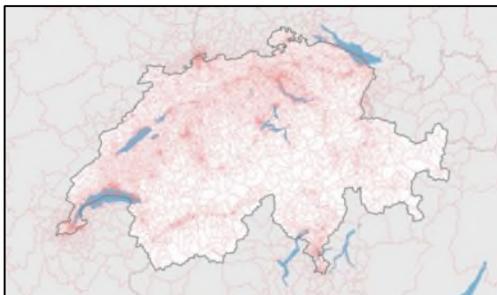


Abbildung 1 Perimeter Phase 1: Zoneneinteilung NPVM

In Phase 2 wird unterschieden:

- Untersuchungsperimeter für die Ermittlung der Wirkung auf die Bahninfrastruktur und die Kosten, der Untersuchungsperimeter beinhaltet repräsentative Netzteile für wichtigste Typen von Netzteilen (städtisch, Agglo, ländlich, Grossknoten, Haupt- und Nebenstrecken, Normal- und Meterspur, GV-Hauptachse)
- Einflussperimeter angrenzend an den Untersuchungsperimeter mit Berücksichtigung nur der Nachfrageänderung und des Bahnangebots (d.h. ohne Infrastruktur)

- Schienennetz der ganzen Schweiz für die Hochrechnung der Kennwerte aus dem Untersuchungsperimeter

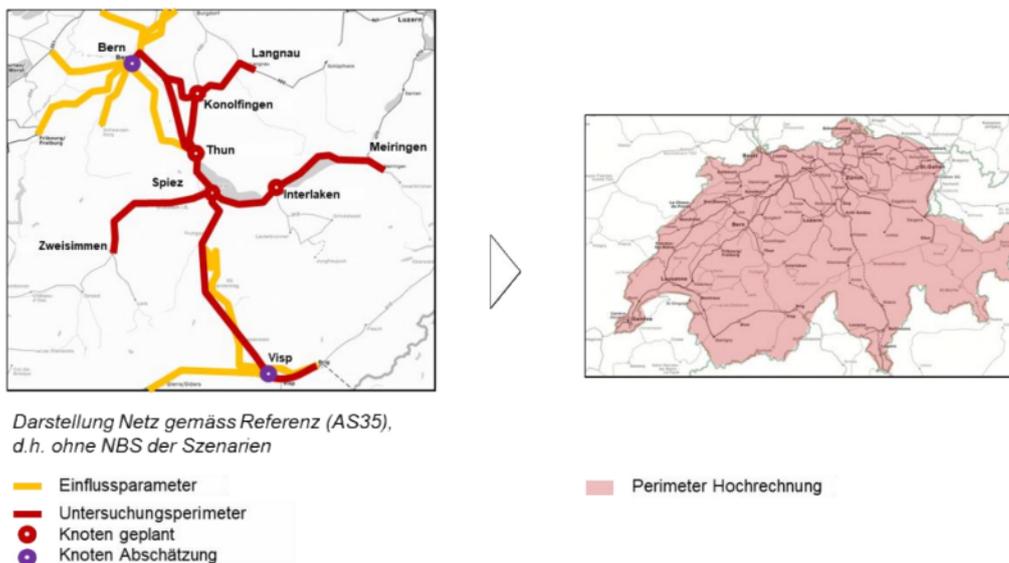


Abbildung 2 Perimeter Phase 2: Untersuchungs-, Einflussperimeter und Perimeter Hochrechnung

3.2.3 Betrachtungshorizonte

In der Studie werden folgende Horizonte betrachtet:

- Basisjahr Nachfrage: 2017 (Phase 1 und 2)
- Referenzzustand 2050: Nachfrage 2050 gemäss NPVM, Angebot AS 2035
- Hebel/Szenarios 2050: Angebot/Nachfrage gemäss Hebel resp. Szenario

3.3 Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden für die Studie verwendet:

- Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM), ARE, Stand 2021
 - Zonenmodell
 - Nachfrage- und Widerstands-Matrizen 2017
 - Nachfrage 2017 in Querschnitten differenziert nach Produkt (Regionalverkehr/Fernverkehr) sowie nach Spitzenstunde / Tageswert
 - Vorläufige Nachfrage- und Widerstands-Matrizen Verkehrsperspektiven 2050, Szenario Basis 2050
 - Vorläufige Nachfrage in Querschnitten Verkehrsperspektiven 2050, Szenario Basis 2050

-
- Determinanten der Verkehrsentsstehung, Umweltbundesamt UBA (D), 2005
 - Energieperspektiven 2050+, BFE, 2020
 - Koordinaten aller Bahnhöfe (DIDOK), Stand 02/2021
 - Viriato-Datenbank AS 2035 inkl. Rollmaterialkapazitäten, SBB, Stand 03/2020
 - Planungsgrundlagen AS 2030, BAV, 04/2014
 - Prices and Costs in the Railway Sector, Baumgartner, 2001
 - SVI-Forschungsarbeit «Taktverdichtung im Bahnverkehr der Schweiz unter Berücksichtigung des Knotenprinzips», SMA, noch unveröffentlicht
 - GIS-Daten des Schienennetzes Schweiz, BAV, 2021
 - GIS-Daten Einwohner- und Arbeitsplatzdichte entlang Bahnstrecken, BFS, 2019
 - Kennwert Abgeltungsbedarf RPV Bahn 2019, BAV, 2021
 - Gemeindetypologie 2012, BFS, 2017

3.4 Methodik Phase 1

Die grundlegende Methodik der Phase 1 verwendet die Wege- und Widerstandsmatrizen des NPVM 2017 und Verkehrsperspektiven 2050, Szenario Basis. Der Widerstand wird in diesem Projekt vereinfacht als Reisezeitäquivalente abgebildet. Dafür werden im ÖV die vier Parameter Reisezeit, Anzahl Umstiege, Takt und Zu- und Abgangszeit verwendet. In den anderen drei Modi (MIV, Velo und Fussgängerverkehr) wird die Reisezeit verwendet. Im Zuge der Bearbeitung werden wechselnde Annahmen getroffen, wie sich die vier Parameter des ÖV verbessern (siehe Hebel und Segmente). Mittels eines Logit-Ansatzes wird dann ermittelt, wie sich diese Verbesserungen der ÖV-Widerstände auf den Modal-Split der Wege und darauf basierend auf den Modal-Split der Verkehrsleistung auswirkt (vgl. Anhang 1). Mittels einer zweiten Methodik wird zusätzlich der Anteil des induzierten Verkehrs ermittelt (vgl. Anhang 2).

4 Segmente und Hebel

4.1 Segmente

Für die Bearbeitung der Fragestellung wurde die Quelle-Ziel-Nachfrage der Schweiz auf drei Arten segmentiert: auf Basis der Entfernung der OD, auf Basis der Gemeindetypologie des Bundesamtes für Statistik (BFS) und auf Basis der Entfernung zum nächsten Bahnhof. Tabelle 2 zeigt die 15 verwendeten Segmentierungen (vgl. Anhang 3 für detaillierte Definition). Jede Gruppe bildet das gesamte Verkehrsvolumen ab und die Segmente innerhalb einer Gruppe überlappen sich nicht.

Die Segmente der Gruppe C Raumtyp wurden mehrstufig auf Basis der Gemeindetypologie des BFS mit 25 Raumtypen hergeleitet:

- Zusammenfassung zu 5 projektspezifischen Raumtypen je nach dominierender Eigenschaft (städtisch, periurban, ländlich, touristisch, Ausland),
- Hinzunahme der Distanz,
- Zusammenfassung der Quelle-Ziel-Kombinationen zu 9 massgebenden Arten.

Gruppe	Parameter	Nr	Abstrahierter Titel
A	-	1	Pauschal, ohne Segmentierung
B	Distanz	2	Kurze Distanzen (< 10 km)
		3	Mittlere Distanzen (10 bis 50 km)
		4	Lange Distanzen (> 50 km)
C	Raumtyp	5	Verkehr in den Städten
		6	Verkehr zwischen Städten
		7	Verkehr zwischen (peri)urbanen Räumen
		8	Verkehr von/nach Städten (Radialverkehr)
		9	Periurbaner Verkehr
		10	Ländlicher Verkehr
		11	Touristisch geprägter Verkehr
		12	Verkehr mit dem Ausland über kurze Distanzen
		13	Verkehr mit dem Ausland über lange Distanzen
D	Nähe zum Bahnhof	14	Zonen mit Bahnhofsnähe
		15	Zonen ohne Bahnhofsnähe

Tabelle 2 Segmente

Tabelle 3 zeigt den Modal Split aller vier Modi (MIV, ÖV, Velo und Fussgänger-verkehr) unterteilt nach den insgesamt 15 Segmenten und macht deutlich, wo die Stärken und Schwächen des ÖV liegen:

- Der ÖV ist überdurchschnittlich stark auf langen Distanzen und beim Verkehr zwischen den Städten (in der Tabelle grün markiert).

- Der ÖV ist überdurchschnittlich schwach im periurbanen und ländlichen Raum, im Verkehr mit dem Ausland und wenn die Entfernung zum nächsten Bahnhof gross ist (in der Tabelle rot markiert).

Gruppe	Segment ID	Segment Titel	Modal Split Wege				Modal Split Pkm			
			MIV	ÖV	Velo	FGV	MIV	ÖV	Velo	FGV
A	1	Pauschal	42%	13%	12%	32%	67%	25%	4%	4%
B	2	Kurze Distanzen	34%	9%	15%	42%	63%	12%	11%	15%
B	3	Mittlere Distanzen	71%	24%	4%	1%	77%	21%	3%	0%
B	4	Lange Distanzen	52%	48%	0%	0%	54%	46%	0%	0%
C	5	Verkehr in den Städten	30%	10%	18%	42%	60%	18%	12%	11%
C	6	Verkehr zwischen Städten	48%	51%	1%	0%	43%	57%	1%	0%
C	7	Verkehr zwischen (peri)urbanen Räumen	74%	22%	3%	0%	75%	23%	2%	0%
C	8	Verkehr von/nach Städten (Radialverkehr)	76%	16%	5%	2%	78%	18%	3%	1%
C	9	Periurbaner Verkehr	43%	6%	6%	45%	79%	7%	3%	11%
C	10	Ländlicher Verkehr	40%	10%	6%	44%	73%	11%	4%	12%
C	11	Touristisch geprägter Verkehr	41%	21%	10%	28%	69%	27%	2%	2%
C	12	Verkehr mit dem Ausland über kurze Distanzen	91%	9%	0%	0%	93%	7%	0%	0%
C	13	Verkehr mit dem Ausland über lange Distanzen	89%	11%	0%	0%	89%	11%	0%	0%
D	14	Zonen mit Bahnhofsnahe	42%	14%	13%	31%	66%	27%	4%	3%
D	15	Zonen ohne Bahnhofsnahe	40%	8%	11%	41%	78%	11%	4%	7%

Tabelle 3 Modal Split in den einzelnen Segmenten (NPVM 2050)

4.2 Hebel

Um die Auswirkungen von Angebotsverbesserungen auf die Nachfrage zu testen, wurden 4 Angebotsparameter betrachtet: Reisezeit, Umsteigevorgänge, Takt und Zu- und Abgangszeit. Für diese wurden jeweils mindestens zwei Ausprägungen definiert. Daraus ergeben sich 12 Hebel gemäss Tabelle 4.

Nr.	Hebel Titel	Hebel Definition
	Referenz 2050	
1	Schneller	Die ÖV-Reisezeit wird um 20 % reduziert.
2	Drastisch schneller	Die ÖV-Reisezeit wird um 50 % reduziert.
3	Mindestens so schnell wie das Auto	ÖV-Reisezeiten = MIV-Reisezeiten oder kleiner
4	Immer 25% schneller als das Auto	ÖV-Reisezeiten = 75% oder kleiner.
5	Deutlich mehr Direktverbindungen	Umsteigevorgänge -1 (kleinster Wert 0).
6	Alles direkt	Die Anzahl der Umsteigevorgänge wird auf 0 gesetzt.
7	Verdoppelung der Angebotsdichte	Der Takt wird halbiert. (Doppelt so viele Verbindungen)
8	Stetigförderer Schweiz	Alle OD mit 8 Verb / h (7.5-Minuten-Takt)
9	Besserer Zugänglichkeit	Die Zu- und Abgangszeiten werden um 50 % reduziert.
10	Die letzte Meile entfällt	Die Zu- und Abgangszeiten werden auf 0 gesetzt.
11	Sehr ambitionierte Änderung aller vier Angebotsparameter	
12	Utopische Änderung aller vier Angebotsparameter	

Tabelle 4 Hebel

Die Auswirkungen dieser 12 Hebel auf die Nachfrage wird in Kap. 5.2 betrachtet.

5 Verlagerung und Wirkung

5.1 Verlagerungspotenziale nach Segmenten

Die Segmente weisen unterschiedliche Verkehrsmengen auf. Sie sind daher auch unterschiedlich wichtig, wenn es um das Potenzial für eine Verkehrsverlagerung geht (vgl. Tabelle 5).

- Nach Distanzen differenziert finden die meisten Wege in der kurzen Distanz statt. Gemessen an der Leistung des Gesamtverkehrs ist die mittlere Distanz am wichtigsten. Im ÖV ist es die lange Distanz.
- Nach Raumtypen differenziert finden die meisten Wege in den städtischen Gebieten statt. Gemessen an der Leistung des Gesamtverkehrs sind die drei Segmente mit Bezug zu den Städten etwa gleich stark. Im ÖV ist der Verkehr zwischen den Städten am grössten.

Nr.	Gruppe	Segment Titel	Gesamtverkehr		nur ÖV	
			Anteil aller Wege an der Gruppe	Anteil aller Pkm an der Gruppe	Anteil an den Wegen im ÖV	Anteil an den Pkm im ÖV
1	A	Pauschal	100%	100%	100%	100%
2	B	Kurze Distanzen (< 10 km)	74%	23%	53%	14%
3	B	Mittlere Distanzen (10 bis 50 km)	23%	52%	38%	42%
4	B	Lange Distanzen (> 50 km)	3%	25%	9%	44%
5	C	Verkehr in den Städten	55%	19%	47%	17%
6	C	Verkehr zwischen Städten	4%	19%	15%	42%
7	C	Verkehr zwischen (peri)urbanen Räumen	3%	14%	5%	11%
8	C	Verkehr von/nach Städten (Radialverkehr)	13%	21%	15%	15%
9	C	Periurbaner Verkehr	10%	8%	4%	2%
10	C	Ländlicher Verkehr	6%	4%	5%	2%
11	C	Touristisch geprägter Verkehr	4%	7%	6%	7%
12	C	Verkehr mit dem Ausland über kurze Distanzen	3%	2%	2%	1%
13	C	Verkehr mit dem Ausland über lange Distanzen	1%	6%	1%	3%
14	D	Zonen mit Bahnhofsnahe	90%	92%	93%	96%
15	D	Zonen ohne Bahnhofsnahe	10%	8%	7%	4%

Tabelle 5 Bedeutung der Segmente in 2050

Es wurde auf Basis der Quelle-Ziel-Nachfragematrizen des NPVM getestet, wie sich hypothetisch angenommene Veränderungen von Angebotswiderständen im ÖV auf die Verlagerung innerhalb verschiedener Verkehrssegmente vom MIV zum ÖV auswirkt. Die Bedeutung der Segmente für das Verlagerungsziel ist davon abhängig, ob das Verkehrsaufkommen (Wege) oder die Verkehrsleistung (Personenkilometer, Pkm) betrachtet wird.

5.1.1 Nach Verkehrsaufkommen

Im Segment «Distanz» ist die MIV-Nachfrage auf der *kurzen Distanz* am grössten. Dieses Segment kann absolut¹ betrachtet daher am stärksten zur Verlagerung beitragen. Gemessen am eigenen Aufkommen (relativ²) tragen Quelle-Ziel-Beziehungen mit *langer Distanz ggü. kurzen und mittleren Distanzen* überproportional zur Verlagerung bei.

Im Segment «Raumtyp» sind die Wege *in den Städten* absolut am bedeutendsten. Dieses Segment trägt absolut am stärksten zu den verlagerten MIV-Wegen bei. Gemessen am eigenen Aufkommen kann der *Verkehr mit dem Ausland* überproportional zur Verlagerung beitragen (Tabelle 6).

Segment	Definition	Anteil an den MIV-Wegen 2050	grösste Potenziale innerhalb Segment
Entfernung: kurz	< 10 km	61 %	Potenzial absolut am grössten
Entfernung: mittel	10 bis 50 km	35 %	
Entfernung: lang	> 50 km	4 %	Potenzial relativ am grössten
Raumtyp: in den Städten	Quelle und Ziel gehören zum Raumtyp städtisch und die Distanz ist < 20 km.	41 %	Potenzial absolut am grössten
Raumtyp: mit dem Ausland	Verkehr mit oder zwischen dem Ausland	9 %	Potenzial relativ am grössten

Tabelle 6 grösste Verlagerungspotenziale nach Segment bezogen auf Wege

5.1.2 Nach Verkehrsleistung

Im Segment «Entfernung» ist die Nachfrage in der *mittleren Distanz* am bedeutendsten. Dieses Segment trägt absolut am stärksten zu den verlagerten MIV-Wegen bei. *Lange Distanzen* tragen ggü. kurzen und mittleren *überproportional* zur Verlagerung bei.

Im Segment «Raumtyp» ist der *radiale* Verkehr von/nach den Städten absolut am grössten. Der *Verkehr zwischen den Städten* trägt jedoch absolut am stärk-

¹ *Absolutes* Potenzial meint, dass die potenzielle Veränderung der absoluten Beträge (gemessen *am Gesamtvolumen der Wege pro Werktag bzw. Pkm pro Jahr*) am grössten ist. Dieses Mass ist sinnvoll, um die (Umwelt-) Wirkungen zu bestimmen.

² *Relatives* Potenzial meint, wie hoch das Potential des Segments *im Bezug zum Volumen des Segments* ist. Segmente, die absolut betrachtet eine kleinere Rolle spielen, können relativ betrachtet einen überdurchschnittlichen Beitrag zur Verlagerung leisten.

ten zu den verlagerten MIV-Pkm bei. Überproportional trägt der Verkehr auf *langen Distanzen ins Ausland* zur Verlagerung bei (Tabelle 7).

Segment	Definition	Anteil an den MIV-Pkm 2050	grösste Potenziale innerhalb Segment
Entfernung: kurz	< 10 km	23 %	
Entfernung: mittel	10 bis 50 km	55 %	Potenzial absolut am grössten
Entfernung: lang	> 50 km	22 %	Potenzial relativ am grössten
Raumtyp: radial von nach Städten	Quelle-Ziel-Beziehungen, die die Kombinationen städtisch – periurban und Distanz < 20 km oder städtisch – ländlich aufweisen	23 %	(Volumen am grössten)
Raumtyp: zwischen Städten	Quelle-Ziel-Beziehungen, die die Kombination städtisch – städtisch aufweisen und deren Distanz > 20 km ist.	13 %	Potenzial absolut am grössten
Raumtyp: lange Distanzen Ausland	Quelle-Ziel-Beziehungen, die die Kombinationen städtisch – Ausland oder periurban – Ausland oder ländlich – Ausland oder Ausland – Ausland aufweisen und deren Distanz > 20 km ist.	8 %	Potenzial relativ am grössten

Tabelle 7 grösste Verlagerungspotenziale nach Segment bezogen auf Pkm

5.2 Verlagerungspotenziale nach Hebel

Um zu ermitteln, wie stark welcher Hebel zum Verlagerungsziel beitragen kann, werden als erste Annäherung die betrachteten Hebel (Tabelle 4) pauschal, ohne Segmentierung getestet (Abbildung 3). Eine vollständige Erreichung des Kernsatzes (Verdoppelung des Modal Splits von 2017) entspricht 100%.

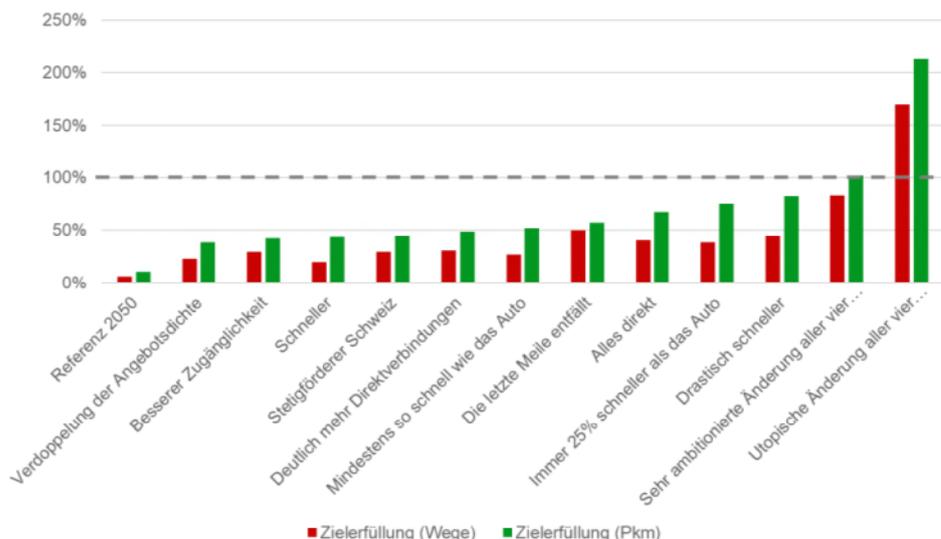


Abbildung 3 Wirksamkeit der Hebel in % Erreichung Kernsatz

Es wurde weiter anhand eines Logit-Ansatzes getestet, wie wirksam die Verbesserung verschiedener Hebel ist und in welchem Umfang diese Verbesserung zur Verlagerung beiträgt.

- Von den getesteten Angebots-Hebeln ist die Verkürzung der Reisezeit am wirksamsten.
- Auch mit einer ambitionierten Verbesserung der Hebel vermag kein Hebel alleine das Verlagerungsziel zu erreichen.
- *Erst die gemeinsame, sehr ambitionierte Änderung aller vier Hebel erreicht das Ziel.* Mit diesen über das ganze Netz zu erzielenden Verbesserungen kann der Modal Split verdoppelt werden³.

5.3 Zwischenfazit und Testscenarien

Die Fokussierung auf ein Segment (und das ausser Acht lassen eines anderen) ist zu wenig wirksam, um die Verdoppelung des ÖV-Anteils gemäss Kernsatzes zu erreichen. Angesichts des hohen Steigerungsbedarfs der Angebotsqualität wird auf die Weiterführung der Segmentierung in Phase 2 verzichtet. Stattdessen wird eine Testreihe mit 20 kombinierten Wirkungsszenarien durchgerechnet: Beginnend bei Test 1 mit unterstellten, moderaten Angebotsverbesserungen werden dabei aller vier Hebel-Parameter von Test zu Test schrittweise erhöht (Tabelle 8). Ziel ist die Ermittlung des Ausmasses der Angebotsverbesserung, das notwendig ist, um den Modal Split zu verdoppeln.

Ergebnis dieser Testreihe ist, dass mit dem Test-Wirkungsszenario Nr. 16 die Verdoppelung des ÖV-Anteils erreicht wird. Dieses Szenario umfasst folgende Qualitätsverbesserungen:

- Reisezeit: -24%
- Umsteigevorgänge: -40%
- Takt: -40%
- Zu- und Abgangszeit: -40%

³ Unter der Annahme, dass ausschliesslich Verbesserungen der Angebotsqualität im ÖV und keine weiteren Annahmen ergriffen werden (vgl. Aufgabenstellung Kernsatz 3).

Nr. des Test-Wirkungs-szenarios	Reisezeit	Umsteige-vorgänge	Takt	Zu- plus Abgangszeit	MS Wege	Zielerfüllung Wege	MS Pkm	Zielerfüllung Pkm
2017					12.9%	0%	20.3%	0%
2050					13.1%	2%	25.4%	25%
1	-1.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	13.5%	5%	28.9%	43%
2	-3.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	13.9%	8%	29.6%	46%
3	-4.5%	-7.5%	-7.5%	-7.5%	14.3%	11%	30.3%	49%
4	-6.0%	-10.0%	-10.0%	-10.0%	14.7%	14%	31.0%	53%
5	-7.5%	-12.5%	-12.5%	-12.5%	15.1%	17%	31.7%	56%
6	-9.0%	-15.0%	-15.0%	-15.0%	15.5%	20%	32.4%	60%
7	-10.5%	-17.5%	-17.5%	-17.5%	16.0%	24%	33.2%	64%
8	-12.0%	-20.0%	-20.0%	-20.0%	16.4%	27%	34.0%	67%
9	-13.5%	-22.5%	-22.5%	-22.5%	16.9%	31%	34.8%	71%
10	-15.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	17.4%	35%	35.7%	76%
11	-16.5%	-27.5%	-27.5%	-27.5%	17.9%	39%	36.5%	80%
12	-18.0%	-30.0%	-30.0%	-30.0%	18.4%	43%	37.4%	84%
13	-19.5%	-32.5%	-32.5%	-32.5%	18.9%	47%	38.3%	89%
14	-21.0%	-35.0%	-35.0%	-35.0%	19.5%	51%	39.3%	94%
15	-22.5%	-37.5%	-37.5%	-37.5%	20.0%	55%	40.3%	98%
16	-24.0%	-40.0%	-40.0%	-40.0%	20.6%	60%	41.3%	103%
17	-25.5%	-42.5%	-42.5%	-42.5%	21.2%	64%	42.3%	108%
18	-27.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%	21.8%	69%	43.3%	113%
19	-28.5%	-47.5%	-47.5%	-47.5%	22.4%	73%	44.4%	119%
20	-30.0%	-50.0%	-50.0%	-50.0%	23.0%	78%	45.5%	124%

Tabelle 8 Zielerfüllung gemäss Kernsatz und erforderliche Verbesserung der Angebotsqualität⁴

Mit einer anderen Kombination der Qualitätsverbesserungen würde das ebenfalls erreicht, wobei eine ggü. den obigen Werten tiefere Veränderung beim einen Angebotsparameter durch einen anderen kompensiert werden müsste. Solche Kombinationen können im Rahmen der Studie nicht weiter vertieft werden.

5.4 Auswirkungen Energie und CO2 sowie induzierter Verkehr

Für die Einschätzung der Auswirkungen auf Energieverbrauch und CO2-Emissionen werden anhand von Faktoren (g CO₂ equ / Pkm und MJ / Pkm) und der ermittelten Pkm-Verlagerungen das eingesparte CO₂ und die eingesparte Energie ermittelt. Der Wahl der Faktoren kommt dabei eine grosse Rolle zu. Sie unterliegen einer grossen Schwankungsbreite. In Abstimmung mit dem Bundesamt für Energie wurden aus den Energieperspektiven 2050+ zwei Szenarien ausgewählt: «Zero Basis» (ZB) und «Weiter so wie bisher» (WWB). Für diese wurden anhand der Nachfrage-, CO₂- und Energiewerte für die Schweiz ein unterer und ein oberer Wert je Faktor ermittelt. Die CO₂-Emissionen berücksichtigen nur die Emissionen der Traktionsenergie, d.h. Emissionen z.B. für Fahrzeugherstellung und Fahrweg sind nicht berücksichtigt. Die Berechnung berücksichtigt die bis zum Jahr 2050 erwartete Effizienzsteigerung. Die technische Entwicklung führt dazu, dass der MIV im Betrieb (ohne graue Energie) weniger CO₂-Emissionen

⁴ Die Rechenmechanik für die Referenz und die 20 Tests ist unterschiedlich, weshalb sich zwischen Referenz und Test 1 eine Unstetigkeit ergibt.

verursacht. Tabelle 9 zeigt die resultierenden Faktoren. Es wird deutlich, dass vor allem die Entwicklung der CO₂-Emissionen gegen Null geht.

Szenario	CO ₂ [g CO ₂ equ / Pkm]		Energie [MJ / Pkm]	
	Unterer Wert	Oberer Wert	Unterer Wert	Oberer Wert
	ZB	WWB	ZB	WWB
ÖV	0.03	9.00	0.35	0.40
MIV	0.10	39.00	0.60	0.75

Tabelle 9 Faktoren der CO₂-Emissionen und des Energie-Verbrauchs für Traktion (ohne graue Energie)

5.4.1 Auswirkungen auf den Energieverbrauch

Je grösser die Angebotsverbesserung beim ÖV und entsprechend der Nutzen für die Nachfragenden, desto grösser die Verlagerung vom MIV und somit der Betrag der eingesparten Energie. Bei einer Verdoppelung des ÖV-Anteils (Test 16) werden zwischen 3,1 und 4,7 MJ-equ. pro Jahr eingespart. Dies entspricht 5 bis 6 % der jeweiligen Referenzmenge für den Betrieb (MIV und ÖV 2050).

5.4.2 Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen

Je grösser die Angebotsverbesserung im ÖV, desto grösser ist wiederum die Verlagerung und der Betrag der eingesparten CO₂-Menge. Bei einer Verdoppelung des ÖV-Anteils werden zwischen 0 und 0,5 Mio. t CO₂-equ. pro Jahr eingespart. Dies entspricht 12 bis 14 % der Referenzmenge (MIV und ÖV 2050).

5.4.3 Induzierter Verkehr

Der induzierte Verkehr fällt mit dem gewählten Elastizitäts-Ansatz vergleichsweise gering aus; je nach Hebel bis zu 6% des Gesamtverkehrs (Anhang 2).

5.5 Fazit Phase 1

Das grösste Potenzial für eine Verlagerung der Verkehrsleistung (Pkm) vom MIV zum ÖV besteht bei mittleren (mengenmässig) und langen (relativ) Distanzen sowie beim Verkehr zwischen den Städten (mengenmässig) resp. auf langen Distanzen ins Ausland (relativ). Ergänzend dazu besteht bezüglich Anzahl Wege das grösste Verlagerungspotenzial bei kurzen Distanzen, speziell in den Städten (mengenmässig) und beim Verkehr mit dem Ausland (relativ).

Die Verkürzung der Reisezeit ist der wirksamste Verlagerungshebel. Für die Verdoppelung des ÖV-Anteils sind aber gleichzeitig auch bei den angebotenen Direktverbindungen und der Angebotsdichte deutliche Qualitätsverbesserungen

erforderlich. Für die Phase 2 wird postuliert, dass die Angebotsqualität mit den drei Parametern Reisezeit, Umsteigevorgänge und Takt in dem Umfang des Test 16 verbessert werden müssen (Kap. 5.3).

Anhang 4 zeigt das resultierende Mengengerüst des Test 16 im Vergleich zum Analysejahr 2017 und im Vergleich zur Referenz 2050.

6 Referenzfall und Szenarien

6.1 Übersicht und Vorgehen

6.1.1 Definitionen

Für die Ermittlung der Auswirkungen wurden aufbauend auf dem Referenzfall zwei Szenarien entwickelt und ausgeplant. Der **Referenzfall** entspricht dem Angebot und der Infrastruktur des AS 2035 mit der Nachfrage 2050 des NPVM und wird für den Untersuchungs- und Einflussperimeter dargestellt.

Die beiden Szenarien stellen hypothetische Zustände dar, welche in Rahmen dieser Studie zwecks Erkenntnisgewinn betrachtet werden. Sie sind explizit nicht als mögliche Angebotskonzepte für die Perspektive zu sehen. Die beiden Szenarien verfolgen folgende Ziele:

- **Szenario 1** «Kapazität»: Konzept mit **genügend Kapazität**, sodass die Nachfrage, die sich durch eine Verdoppelung des ÖV-Anteils ergibt, bewältigt werden kann. Dabei soll die Angebotsqualität verbessert werden.
- **Szenario 2** «Angebotsqualität und Kapazität»: Konzept mit einer **genügend hohen Angebotsqualität**, mit welchem die Verdoppelung des ÖV-Anteils erreicht werden kann. Die Kapazität soll dabei ebenfalls ausreichend dimensioniert sein.

6.1.2 Nachfrage und Kapazität

Die Definition der Anforderung «genügend Kapazität» ist in Kap. 6.3 detailliert beschrieben.

6.1.3 Angebotsqualität

Bezüglich Angebotsqualität wird eine vollständige Erreichung der im Kernsatz genannten Verdoppelung des ÖV-Anteils und damit die Qualitätswerte aus Test 16 angestrebt:

Messgrösse Angebotsqualität	Angestrebte Veränderung für Verdoppelung des ÖV-Anteils
Reisezeit [min]	-24%
Umsteigevorgänge [-]	-40%
Takt [min]	-40%

Tabelle 10 Angestrebte Veränderung der Angebotsqualität ggü. der Referenz

Der Hebel «Zu- und Abgangszeit» kann in der im Rahmen der Szenarien möglichen Betrachtungstiefe nicht abgebildet werden.

Die Berechnung der Angebotsqualität erfolgt für die Referenz und die beiden Szenarien automatisiert mit einer Angebotsanalyse der Software Viriato, basierend auf dem hinterlegten Fahrplankonzept. Dazu ist anzumerken:

- Die Werte entsprechen einem mit der Nachfrage (Gesamtverkehr⁵) gewichteter Durchschnitt aller Quelle-Ziel-Beziehungen
- Die Auswertung umfasst den Untersuchungs- und Einflussperimeter. Es sind jedoch nur Beziehungen enthalten, welche im Untersuchungsperimeter beginnen oder enden, d.h. exkl. jene mit Quelle *und* Ziel im Einflussperimeter.

6.1.4 Infrastrukturkosten

Die Grobabschätzung der Kosten für die Infrastrukturmassnahmen erfolgt mittels den indikativen Kennwerten gemäss Baumgartner 2001 (mittlerer Wert), ist inflationsbereinigt (Preisstand 2020) und unterscheidet sechs Streckenkategorien. Die Streckenkategorien für die Normalspur werden aus den zwei Dimensionen Streckenauslastung und Besiedlungsdichte mit jeweils 3 resp. 2 Klassen gebildet:

- Auslastung des Streckenabschnitts in der Referenz (Schwellenwerte ergeben etwa drei gleich grosse Gruppen). Die Ermittlung der Werte erfolgt mittels Viriato Capacity-Analysis-Tools auf Basis der Referenz.
 - Tief: Bis und mit 35% Auslastung
 - Mittel: 35% bis und mit 55% Auslastung
 - Hoch: Ab 55% Auslastung
- Durchschnittliche Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdichte (BFS 2019) in einem Einflussgebiet von 100 m entlang der Strecke. Die Ermittlung der Werte je Streckenabschnitt erfolgt mittels GIS-Auswertung.
 - Tief bis mittel: Bis 1000⁶ Einwohner und Arbeitsplätze pro km² (Kosten der Stufe «mittel» angewendet, da Stufe «tief» kaum vorkommt)
 - Hoch: Ab 1000 Einwohner und Arbeitsplätze pro km²

Meterspurstrecken bilden zwei separate Kategorien:

⁵ Die drei Angebotsparameter werden für jede Quelle-Ziel-Beziehung ermittelt und mit der Gesamtverkehrsnachfrage aus dem NPVM 2050 gewichtet (und nicht nur mit der ÖV-Nachfrage). Damit werden auch bisher beim ÖV unterdurchschnittlich bediente und entsprechend (schwach) nachgefragte Quelle-Ziel-Relationen angemessen berücksichtigt.

⁶ Schwellenwert gemäss Baumgartner

- Charakter S-Bahn mit analogen Kosten der Normalspurkategorie «Dichte hoch» und «Streckenauslastung mittel»
- Charakter ländlich/touristisch mit Kosten des Meterspurabschnitts im Mustersnetz

Damit ergibt sich eine Darstellung und Umfang der Streckenkilometer gemäss folgender Abbildung.

Anzahl km Normalspur im Untersuchungsperimeter		Auslastung		
		Tief	Mittel	Hoch
Dichte	Tief bis mittel	49.1	70.2	19.8
	Hoch	17.7	24.1	46.7

Anzahl km Normalspur im Gesamtnetz		Auslastung		
		Tief	Mittel	Hoch
Dichte	Tief bis mittel	486.3	553.2	350.3
	Hoch	467.8	1303.2	857.9

Abbildung 4 Kategorisierung und Anzahl km je Kategorie im Untersuchungsperimeter und Normalspurnetz Schweiz

In der gleichen Struktur werden die Infrastrukturkosten pro km je Streckenkategorie ermittelt: Die Kosten für Infrastrukturmassnahmen werden Streckenabschnitten zugeordnet. Die Zuteilung von Kosten, welche mehrere Streckenabschnitte betreffen (wie Knoten, Verzweigungen) erfolgt proportional zur Länge der angrenzenden Streckenabschnitte.

Die Hochrechnung der Infrastrukturkosten vom Untersuchungsperimeter auf das gesamte Schweizer Bahnnetz erfolgt anhand der Kilometerkosten je Streckenkategorie und proportional zu den Streckenkilometern.

Ergänzend werden in einer separaten Hochrechnung die Grossprojekte (betrifft nur Szenario 2), also insbesondere die Neubaustrecken (NBS), gesondert betrachtet, um allfällige Besonderheiten des gewählten Untersuchungsperimeters diesbezüglich zu relativieren. Dazu wird vereinfachend angenommen, dass analog zu den in Szenario 2 angenommenen Angebotsverbesserungen auf hochbelasteten Korridoren mit hoher Nachfrage NBS-Abschnitte im Umfang von rund 220 km erforderlich würden.

6.1.5 Vorgehensschritte

Die Ausarbeitung der Szenarien sowie die Wirkungsbeurteilung erfolgt nach folgendem Vorgehen:

1. Definition des Referenzfalls im Untersuchungsperimeter entsprechend dem Angebot und der Infrastruktur des AS 2035 inkl. Bestimmung der massgebenden Kapazitäten an den Querschnitten
2. Definition, Ausplanung und Analyse Szenario 1:

-
- a) Berechnung der Belastungswerte Nachfrage in der Spitzenstunde für 25 Querschnitte im Untersuchungs- und Einflussperimeter bei verdoppeltem ÖV-Anteil
 - b) Berechnung der Auslastung der Züge und des zusätzlichen Mengengerüsts
 - c) Fahrplankonzeption im Untersuchungsperimeter, inkl. Ermittlung der Infrastrukturmassnahmen und –kosten
 - d) Angebotsanalyse zur Berechnung der erzielten Verbesserung der Angebotsqualität und Ableitung Erkenntnisse für Szenario 2
3. Definition, Ausplanung und Analyse Szenario 2
 - a) Bestimmung Angebotsverbesserungen bei Reisezeit, Angebotsdichte und Umsteigehäufigkeit für die Erreichung der Qualitätsziele aus Phase 1 und Szenario 1
 - b) Fahrplankonzeption im Untersuchungsperimeter, inkl. Ermittlung der Infrastrukturmassnahmen und –kosten
 - c) Angebotsanalyse zur Berechnung der erzielten Verbesserung der Angebotsqualität
 4. Hochrechnung der Kosten für die Infrastrukturerweiterungen sowie den Abgeltungsbedarf auf das Schienennetz der ganzen Schweiz für Szenario 1 und Szenario 2

6.2 Referenz

Der Referenzzustand ist wie folgt definiert:

- Basis Nachfrage: Belastungswerte prognostiziert gemäss NPVM 2050 aufgetrennt nach Zugkategorie (Fernverkehr und Regionalverkehr); Anteil der Spitzenstunde übernommen von 2017 (Belastungswerte im Schienenverkehr effektiv (2017) inklusive Morgen- und Abendspitze (MSP und ASP) sowie durchschnittlicher Wochentagsverkehr (DWV)). Diese Werte sind für jeden Querschnitt vorhanden.
- Basis Mengengerüst und Angebot Züge: Fahrplan definiert gemäss Angebotskonzept zum AS2035.
- Basis Infrastruktur: Infrastruktur definiert gemäss AS2035.

Die Netzgrafik des Referenzzustands für den Untersuchungs- und Einflussperimeter inkl. Kennzeichnung der Dimensionierungsquerschnitte ist im Anhang 5 zu finden.

Bezüglich Angebotsqualität erreicht der Referenzzustand im untersuchten Perimeter folgende Werte, welche in der Folge als Vergleichsbasis dienen:

Messgrösse Angebotsqualität	Wert
Reisezeit [min]	14.2
Umsteigevorgänge [-]	0.10
Takt [min]	35.5

Tabelle 11 Gewichtete Angebotsqualität im untersuchten Perimeter

6.3 Szenario 1 «Kapazität»

Das Szenario 1 wird mit dem Ziel entwickelt, genügend Kapazität bereitzustellen, sodass die Nachfrage, die sich durch eine Verdoppelung des Modal Splits ergibt, bewältigt werden kann. Gleichzeitig soll mit dem dafür notwendigen Mengengerüst eine möglichst hohe Angebotsqualität erreicht werden.

Zur **Ermittlung des Mengengerüsts** in Szenario 1 wird wie folgt vorgegangen:

- Nachfrage: Die für die Referenz ermittelten Nachfragewerte (Querschnittsbelastungen) für Fern- und Regionalverkehr werden entsprechend dem verlagerten Verkehr pauschal mit einem Wachstumsfaktor von 1.67⁷ für das Szenario 1 ggü. der Referenz 2050 erhöht.
- Die Kapazität je Zug gemessen in Anzahl Sitz- resp. Stehplätzen (3 Personen pro m²) basierend auf den im AS 35 je Linie hinterlegten Fahrzeugtypen berechnet. Zum FV wird angenommen, dass keine IC2000 mehr eingesetzt werden, sondern nur noch «FV-Dosto». Die maximalen Zuglängen werden (entsprechend den Gegebenheiten im Untersuchungsperimeter im Referenzfall) mit 400m für den FV, 150-250m für Regio-Express (RE) und 150-200m für den Regional-/S-Bahn-Verkehr angenommen.
- Berücksichtigung von Ganglinien (Saison, Woche) wird mit den Dimensionierungsfaktoren 1.25 für Sitzplatzkapazität resp. 1.33 für Stehplatzkapazität (ausschliesslich Regionalverkehr auf kurzen Distanzen unter 15 Minuten), gemäss den Planungsgrundlagen AS2030 (Stand April 2014), gerechnet.
- Das Mengengerüst wird für die Spitzenstunde aus dem Verhältnis der Nachfrage auf Dimensionierungsebene zur Kapazität, unterschieden nach Fern- und Regionalverkehr, bestimmt.

⁷ Zwischen der Referenz und einem zu 100% erfüllten Verlagerungsziel (gemäss Testreihe 16) liegt ein Nachfragefaktor der Verkehrsleistung von 1.67 (33.7 vs. 56.4 Mrd. Pkm/a). Dieser Faktor wird für alle betrachteten Querschnitte verwendet, da keine Umlegung der Nachfrage gemacht werden kann.

Mit diesem Mengengerüst wird eine **Kapazitätsplanung** im Musternetz vorgenommen. Dabei wurden folgende Grundsätze angewendet:

- Es erfolgt eine Gesamtsystemoptimierung Angebot – Infrastruktur
- Die Trassen der Referenz werden nur geringfügig angepasst (gilt neben Personen- auch für Güterverkehr)
- Die Haltepolitik auf bestehenden Linien bleibt erhalten wie im AS35 definiert, so dass es in keinem Fall eine Angebotsverschlechterung gibt. Die Haltepolitik der neuen Linien oder der Verlängerung von bestehenden Linien wird mithilfe folgender Regeln definiert:
 - IC/IR/RE/R Produkte halten gemäss Planungsgrundlagen
 - Bahnhöfe mit Knotenfunktion können zusätzlich bedient werden
 - Neue Tangentialverbindungen mit Halt in Agglo möglich

Die Netzgrafik (inkl. hervorgehobenen neuen und angepassten Linien) ist im Anhang 5, die Dokumentation des Konzepts anhand Streckengrafiken und Gleisbelegungsplänen ist im Anhang 6 ersichtlich.

Folgende Infrastrukturausbauten werden im Szenario 1 benötigt:

Massnahme	Streckenabschnitt
4. Gleis	Bern Wylerfeld – Löchligut Süd
4. Gleis	Wankdorf (Abzw) – Gümligen Süd
Überwerfung	Gümligen Süd
Gleisverlängerung für GV	Gümligen Richtung Süden
Doppelspur für Kreuzung	Krattighalde
Doppelspurverlängerung	Leissigen
Doppelspur	Interlaken Ost – Interlaken West
Doppelspur	Gümligen Süd – Worb SBB
Doppelspur	Schüpbach – Emmenmatt
Doppelspur	Obermatt – Langnau
Kreuzungsmöglichkeit	Stalden i.E.
Abstellgleise GV	Konolfingen

Tabelle 12 Infrastrukturmassnahmen im Untersuchungsperimeter Szenario 1

Die grob geschätzten Kosten für diese Massnahmen im Untersuchungsperimeter betragen rund CHF 1.3 Mia. Hochgerechnet auf das ganze Schweizer Bahnnetz würden unter den theoretischen Annahmen gemäss Szenario Kosten von 20 bis 30 Mia. CHF entstehen.

Bezüglich Angebotsqualität erreicht das Szenario 1 im untersuchten Perimeter folgende Werte:

Messgrösse Angebotsqualität	Wert Referenz	Angestrebte Veränderung	Wert Szenario 1	Erzielte Veränderung im Szenario 1
Reisezeit [min]	14.2	-24%	14.0	-1%
Umsteigevorgänge [-]	0.10	-40%	0.08	-17%
Takt [min]	35.5	-40%	32.3	-9%

Tabelle 13 Verbesserung der Angebotsqualität Szenario 1 ggü der Referenz

Die Zielwerte werden mit Szenario 1 somit deutlich unterschritten. Dies wird beim Umfang der weiteren Angebotsverbesserungen im Szenario 2 entsprechend berücksichtigt.

6.4 Szenario 2 «Qualität und Kapazität»

Das Szenario 2 wird mit dem Ziel entwickelt, eine genügend hohe Angebotsqualität bereitzustellen, mit welchem keine Verdoppelung des ÖV-Anteils erreicht werden kann. Die ausreichende Kapazität soll dabei ebenso zur Verfügung stehen.

Das Szenario 2 baut auf dem Szenario 1 auf, soll aber nun auch die nötige Angebotsqualität erreichen. Basierend auf dem noch grossen Fehlbetrag bei der Verlagerung ggü. dem Kernsatz sind bei allen drei Parametern deutliche Verbesserungen notwendig, insbesondere bei der Reisezeit und der Verbindungsdichte (gemessen als Takt). Folgende Prinzipien werden bei der Konzeption daraus abgeleitet:

Beschleunigungen

- Neubaustrecken für Beschleunigung und direktere Erschliessung, wo gleichzeitig zusätzliche Kapazität benötigt wird. Vgl. nachfolgende Abbildungen.
- Zusätzliche Tangentialverbindungen
- Zusätzliche beschleunigte Produkte (RE) in Korridoren mit bisher «nur» S-Bahn
- Auflösen Knoten Bern und Minimierung Haltezeiten (vgl. auch SVI-Forschungsprojekt «Taktverdichtung im Bahnverkehr der Schweiz unter Berücksichtigung des Knotenprinzips»)

Erhöhung der Angebotsdichte

- Verdoppelung der Taktichten aller Linien (zu dichteren Takten überlagerte Linien weiter überlagern, d.h. z.B. zwei zum 30'-Takt überlagerte Linien ergeben neu ein 15'-Takt)

Zusätzliche Direktverbindungen

- Die neuen Linien werden in den Knoten soweit sinnvoll so durchgebunden, dass sich weitere Direktverbindungen ergeben, z.B. S-Bahn Bern von jedem Korridor östlich in jeden Korridor westlich Bern.
- Zusätzliche Tangentialverbindungen, insbesondere, wenn bereits ein (zum nächsten Zentrum führender) 15'-Takt besteht
- Punktuelle Erschliessung von Potenzialen mit direkter Streckenführung, wenn aus Kapazitätsgründen ohnehin eine neue Strecke benötigt wird

Die grössten Infrastrukturmassnahmen, welche neben Kapazität auch Reisezeitverkürzungen ermöglichen, sind in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

- 1 **Neuer Bahnhofsteil Bern S-Bahn**
 - S-Bahnhof Bern inkl. Zufahrten
- 2 **NBS Bern West – Aaretal**
 - Vmax: 200 km/h
 - RE Bern – Münsingen
 - IC/IR Bern – Thun
- 3 **4-Spur Aaretal bis 200 km/h**
 - Vmax Gümligen S – Uttigen 200 km/h
 - RE Münsingen – Thun
 - IC/IR Bern – Thun
- 4 **Beschleunigung Gümligen – Langnau**
 - Kurvenbegradigungen
 - RE
 - S-Bahn
- 5 **NBS Aaretal – Steffisburg – Thun**
 - Direkte Anbindung Steffisburg nach Bern
 - Beschleunigung RV Bern – Thun

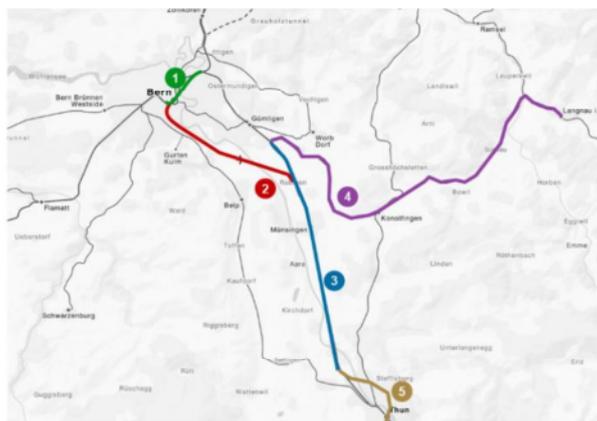


Abbildung 5 Grössere Infrastrukturmassnahmen für Beschleunigungen (und Kapazitätserhöhung), Nord

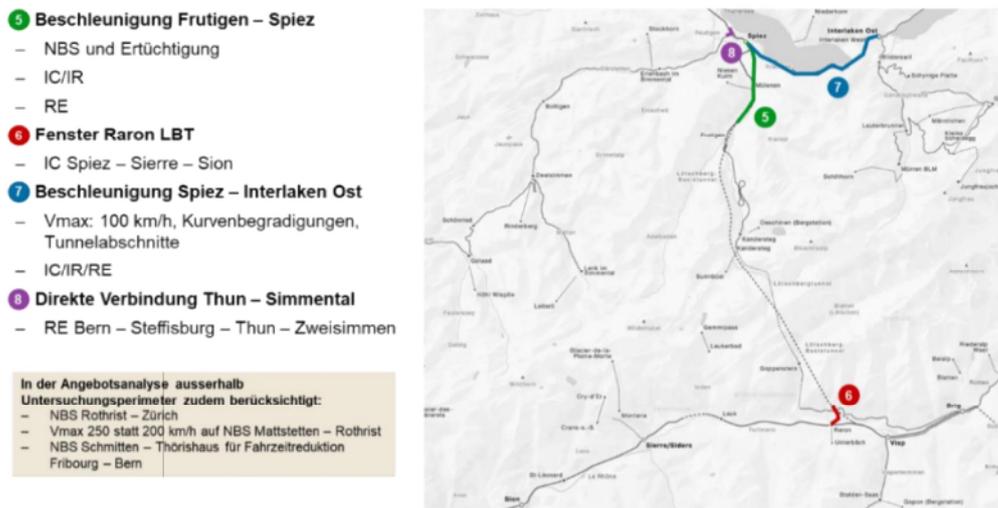


Abbildung 6 Grössere Infrastrukturmassnahmen für Beschleunigungen (und Kapazitätserhöhung), Süd

Mit diesen Ansätzen wird wiederum eine **Kapazitätsplanung** im Musternetz vorgenommen und zwischen Angebotsqualität und Infrastrukturbedarf optimiert.

Die Netzgrafik (inkl. hervorgehobenen neuen und angepassten Linien) ist im Anhang 5, die Dokumentation des Konzepts anhand Streckengrafiken und Gleisbelegungsplänen ist im Anhang 7 ersichtlich.

Folgende Infrastrukturausbauten werden im Szenario 2 benötigt:

Massnahme	Streckenabschnitt
NBS Bern-Wylerfeld – Bern – Aaretal	-
NBS Kiesen – Thun – Gwatt (exkl.)	-
NBS Spiez – Mülenen	-
LBT Fenster Steg	-
NBS Tanmoos – Lattigen	-
DML S-Bahn Bern (Europaplatz – Wankdorf), inkl. Bhf Bern und Wankdorf	-
4. Gleis Wankdorf – Gümligen-Süd inkl. Überwerfungen	Wankdorf (Abzw.) – Ostermundigen – Gümligen-Süd
3.+4. Gleis Gümligen-Süd – Kiesen (Vmax 200 km/h)	Gümligen-Süd – Münsingen – Thun
Bhf Thun hoch: Kapazitätsausbau	Münsingen – Thun – Spiez
Bhf Spiez: Kapazitätsausbau	Thun – Spiez – Frutigen / Interlaken
Doppelspurausbau Gümligen-Süd – Langnau	Gümligen-Süd – Konolfingen – Langnau
Doppelspurausbau Heimberg – Konolfingen	Thun – Konolfingen

Massnahme	Streckenabschnitt
GV-Überholgleis Bowil	Konolfingen – Langnau
Doppelspurausbau Spiez – Interlaken West (Vmax 100 km/h)	Spiez – Interlaken
Doppelspurausbau Interlaken-West - Interlaken-Ost (3-Schiene) inkl. Bhf IW	Spiez – Interlaken (Interlaken – Meiringen)
Doppelspurabschnitte zb	Interlaken – Meiringen
Doppelspurabschnitte im Simmental	Spiez – Zweisimmen
3. Röhre GV Mitholz – Frutigen	Frutigen – Visp (LBT)
Überholungsgleis GV Ferden	Frutigen – Visp (LBT)

Tabelle 14 Infrastrukturmassnahmen im Untersuchungsperimeter Szenario 1

Die grob geschätzten Kosten für diese Massnahmen im Untersuchungsperimeter betragen rund CHF 10 Mia., davon 4.5 Mia. für NBS und 5.5 Mia. für die weiteren Massnahmen. Hochgerechnet auf das ganze Schweizer Bahnnetz würden unter den theoretischen Annahmen gemäss Szenario Kosten von 150 bis 200 Mia. CHF entstehen.

Bezüglich Angebotsqualität erreicht das Szenario 2 im untersuchten Perimeter folgende Werte:

Messgrösse Angebotsqualität	Wert Referenz	Angestrebte Veränderung	Wert Szenario 2	Erzielte Veränderung im Szenario 2
Reisezeit [min]	14.2	-24%	11.5	-19%
Umsteigevorgänge [-]	0.10	-40%	0.06	-40%
Takt [min]	35.5	-40%	21.4	-40%

Tabelle 15 Verbesserung der Angebotsqualität Szenario 2 ggü. der Referenz

Die Zielwerte werden mit Szenario 2 somit nahezu erreicht. Einzig bei der Reisezeit wären noch weitere Verbesserungen nötig (oder kompensierend bei der Anzahl Umstiege und der Verbindungsdichte).

7 Auswirkungen

7.1 Wichtigste Kennzahlen

Die Erfüllung der Kapazitätsanforderungen (gemäss Szenario 1) resp. der Qualitätsanforderungen für die Verlagerungswirkung (Szenario 2) hätte folgende Auswirkungen auf den Ausbaubedarf.

	Szenario 1	Szenario 2
Kosten Infrastrukturausbau [Mia. CHF]	20 bis 30	150 bis 200
Zus. Kosten Substanzerhalt ⁸ [Mia. CHF/a]	0.2 bis 0.3	1.5 bis 2.0

Tabelle 16 Grobabschätzung Infrastrukturbedarf ganze Schweiz

Bei den Abschätzungen nicht berücksichtigt sind weitere allenfalls zusätzlich nötige Investitionen in den Ausbau von Publikumsanlagen, Abstell- und Serviceanlagen.

Ergänzend wird der zusätzliche Abgeltungsbedarf für den regionalen Personenverkehr (RPV) auf der Bahn anhand der Zugkilometer resp. Angebotskilometer abgeschätzt (auf Basis 2019).

	2019	Szenario 1	Szenario 2
Zugkilometer [Zkm] RPV im Untersuchungsperimeter werktags, pro Stunde, gewichtet HVZ/NVZ (Veränderung ggü. 2019)	2'200	3'190 (+45%)	6'640 (+202%)
Annahmen* für Veränderung Abgeltungen RPV Bahn		+45%	+45 bis +100%
Abgeltungen RPV Bahn Schweiz [CHF/a]	672 Mio.	1 Mia.	1 bis 2 Mia.

*Bemerkungen zu Annahmen

Abgeltungen analog Zkm, unveränderte Kostendeckungsgrade

Abhängig von Betriebsform sind wesentlich kleinere Gefässgrössen erforderlich (hier angenommen z.B. 50% kleiner) → grosse Bandbreite

Tabelle 17 Grobabschätzung Abgeltungsbedarf regionaler Personenverkehr Bahn, ganze Schweiz

⁸ Pauschale Annahme: jährlicher Substanzerhalt ist 1% der Investitionskosten

Hierbei sind allfällige ungedeckte Kosten des ausgebauten Fernverkehrsangebots nicht berücksichtigt.

7.2 Zwischenfazit aus Phase 2

7.2.1 Kapazität für Bewältigung der Nachfrage bei Verdoppelung ÖV-Anteil

Die Kapazität für ein Nachfragevolumen gemäss Kernsatz kann mit gezielten Angebots- und entsprechenden Infrastrukturausbauten in nötigem Umfang erhöht werden. Dies würde grob geschätzt mit Infrastrukturausbauten im Umfang von ca. 20 bis 30 Mia. CHF möglich. Da die Verteilung der Nachfrage auf Züge als optimal angenommen wurde, entspricht dies eher einem untern Wert für den Ausbaubedarf.

7.2.2 Angebotsqualität für eine Verdoppelung des ÖV-Anteils

Eine Verdoppelung des ÖV-Anteils gemäss Kernsatz 3 kann mit der Nachfragewirkung eines sehr weitgehenden Angebotsausbaus grösstenteils, jedoch nicht vollständig, erreicht werden. Dabei entstehen Infrastrukturkosten von grob geschätzt 150 bis 200 Mia. CHF.

Folgende Hinweise dazu sind anzumerken: Die Züge würden mit kleineren Gefässgrössen gefahren, da hier das gleiche Nachfragevolumen mit deutlich höherer Angebotsdichte bewältigt wird. Entsprechend wäre die Digitalisierung und Automatisierung des Bahnsystems von besonderer Bedeutung für eine effizientes Bahnsystem inkl. Minimierung des Infrastrukturausbaus.

8 Schlussfolgerungen

Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus der Studie zum Kernsatz 3 «Im Personenverkehr verdoppelt sich der Bahnanteil im Gesamtverkehr» können wir folgt zusammengefasst werden.

1. Das grösste Potenzial für eine Verlagerung der Verkehrsleistung (Pkm) vom MIV zum ÖV besteht bei folgenden Verkehrssegmenten:

- mittleren (mengenmässig) und langen (relativ) Distanzen
- beim Verkehr zwischen den Städten (mengenmässig) resp. auf langen Distanzen ins Ausland (relativ).

Bezüglich Verkehrsaufkommen besteht das grösste Verlagerungspotenzial bei:

- kurzen Distanzen [<10km], speziell innerhalb städtischer Gebiete (mengenmässig) und
- beim Verkehr mit dem Ausland (relativ).

2. Die Verkürzung der Reisezeiten beim ÖV hat die grösste Verlagerungswirkung neben neuer Direktverbindungen und höherer Verbindungsdichten. Für die Verdoppelung des ÖV-Anteils müssen jedoch alle Hebel angewendet werden, z.B. mit einer Kombination folgender Angebotsverbesserungen: Reisezeiten -24%, Umsteigevorgänge -40%, Takte -40%.

3. Die Angebotsverbesserungen, mit welchen eine Verdoppelung des ÖV-Anteils erreicht wird, würden bei der Bahn schweizweit zwischen 150 und 200 Mia. CHF an Infrastrukturausbauten benötigen (mit der heutigen Betriebsform und -technologie). In diesem Fall steigt die Angebotsdichte deutlich stärker als die Nachfrage, wodurch kleinere Gefässgrössen (kürzere Züge) einzusetzen wären. Dies bedeutet eine weniger effiziente Nutzung der Bahninfrastruktur, falls kein bedeutender Sprung bei der Betriebstechnologie möglich ist.

4. Für eine Bewältigung der Nachfrage bei Verdoppelung des ÖV-Anteils (als Folge von weiteren Massnahmen als ausschliesslich Angebotsverbesserungen) genügt ein gezielter Angebotsausbau, welcher Infrastrukturmassnahmen im Umfang von 20 bis 30 Mia. CHF zur Folge hätte.

5. Die System-bestimmende Grösse bei der Verlagerung ist somit nicht die Kapazität, sondern die angestrebte Angebotsqualität.

Folgende Empfehlungen können im Hinblick auf die Stossrichtungen für die Perspektive Bahn 2050 abgeleitet werden:

- Auf die Nachfragesegmente mit dem grösstem Verlagerungspotenzial der Verkehrsleistung soll besonders fokussiert werden, d.h. insbesondere auf mittlere [10-50km] Distanzen sowie auf den Verkehr zwischen städtischen

Gebieten (gemäss Definition Gemeindetypologie BFS, vgl. Anhang 3). Relativ sind auch auf langen Distanzen ins Ausland die Verlagerungspotenziale besser auszuschöpfen.

- Die Verlagerungswirkung durch Angebotsverbesserungen ist bestmöglich auszuschöpfen. Unter Berücksichtigung der weiteren Kernsätze der Perspektive Bahn ist dazu eine Balance zu suchen zwischen vertretbarem Ausbau und möglichst hoher Angebotsqualität zur Unterstützung der Verkehrsverlagerung. Dazu sind zu berücksichtigen:
 - Das effizienzsteigernde Potenzial von innovativen Ansätzen bei Betriebsform/-technologie ist auszuloten. Dazu gehört eine Abschätzung der technisch und betrieblich realistischen Entwicklungen des Bahnsystems für den Horizont der Perspektive Bahn 2050 (z.B. Zugfolgen, Ansätze wie Flügeln mittels «Moving-Shuntig», etc.).
 - Für den Zielkonflikt zwischen mehr Direktverbindungen und einer Minimierung der betrieblichen Komplexität bei Entflechtung der Verkehrsarten ist ein Optimum zu finden.
 - Erst die Ausplanung eines ausbalancierten Bahnkonzepts für die ganze Schweiz und darauf aufbauend eine schweizweite Modellierung des Gesamtverkehrs, inkl. Wechselwirkungen mit MVI, Fuss- und Veloverkehr, kann detaillierte Aussagen für die Wirkungsbeurteilung (Verlagerung, Dimensionierung Rollmaterial, ungedeckte Kosten) liefern.
 - Dazu sind ausserdem die methodischen Grundlagen betreffend induziertem Verkehr sowie zum Energiebedarf der Verkehrsträger inkl. graue Energie (Fahrzeug und Fahrwege) zu überprüfen.
- Schliesslich ist aus übergeordneter Sicht auch ein Optimum unter Berücksichtigung von Massnahmen ausserhalb des Bahnsystems, d.h. z.B. bei der Raumplanung und beim MIV zu suchen.

23.11.2021 | rk, gni

T:\6001.1 Schweiz Suisse\BAV-OFT\2021-12 Stossrichtungen Bahn 2050\B2050-KS3-Schlussbericht_1-00.docx

9 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Perimeter Phase 1: Zoneneinteilung NPVM.....	5
Abbildung 2	Perimeter Phase 2: Untersuchungs-, Einflussperimeter und Perimeter Hochrechnung.....	6
Abbildung 3	Wirksamkeit der Hebel in % Erreichung Kernsatz.....	13
Abbildung 4	Kategorisierung und Anzahl km je Kategorie im Untersuchungsperimeter und Normalspurnetz Schweiz.....	20
Abbildung 5	Grössere Infrastrukturmassnahmen für Beschleunigungen (und Kapazitätserhöhung), Nord.....	25
Abbildung 6	Grössere Infrastrukturmassnahmen für Beschleunigungen (und Kapazitätserhöhung), Süd.....	26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Phasen, Arbeitsschritte und Kapitelübersicht.....	4
Tabelle 2	Segmente.....	8
Tabelle 3	Modal Split in den einzelnen Segmenten (NPVM 2050).....	9
Tabelle 4	Hebel.....	10
Tabelle 5	Bedeutung der Segmente in 2050.....	11
Tabelle 6	grösste Verlagerungspotenziale nach Segment bezogen auf Wege.....	12
Tabelle 7	grösste Verlagerungspotenziale nach Segment bezogen auf Pkm.....	13
Tabelle 8	Zielerfüllung gemäss Kernsatz und erforderliche Verbesserung der Angebotsqualität.....	15
Tabelle 9	Faktoren der CO ₂ -Emissionen und des Energie-Verbrauchs für Traktion (ohne graue Energie).....	16
Tabelle 10	Angestrebte Veränderung der Angebotsqualität ggü. der Referenz.....	18
Tabelle 11	Gewichtete Angebotsqualität im untersuchten Perimeter.....	22
Tabelle 12	Infrastrukturmassnahmen im Untersuchungsperimeter Szenario 1.....	23
Tabelle 13	Verbesserung der Angebotsqualität Szenario 1 ggü der Referenz.....	24

Tabelle 14	Infrastrukturmassnahmen im Untersuchungsperimeter Szenario 1	27
Tabelle 15	Verbesserung der Angebotsqualität Szenario 2 ggü. der Referenz	27
Tabelle 16	Grobabschätzung Infrastrukturbedarf ganze Schweiz	28
Tabelle 17	Grobabschätzung Abgeltungsbedarf regionaler Personenverkehr Bahn, ganze Schweiz	28

Anhänge

Modal Split Methodik	1
Induzierter Verkehr Methodik	2
Segmente Definition	3
Test 16 Resultierendes Mengengerüst	4
Netzgrafiken.....	5
Dokumentation Szenario 1	6
Dokumentation Szenario 2	7

Modal Split Methodik (1)

Ausgangslage

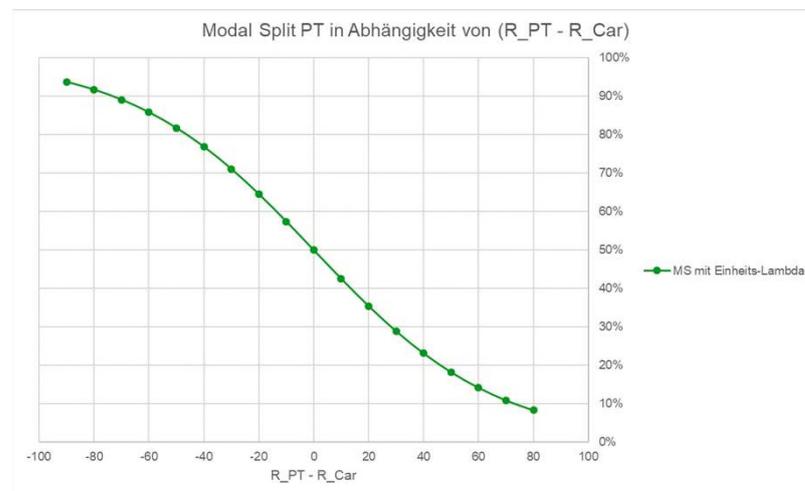
- Gegeben sind ÖV- und MIV-Widerstände in der Referenz sowie die Verbesserung der ÖV-Widerstände
- Gesucht ist die Verlagerung vom MIV zum ÖV. Die Berechnung erfolgt auf Basis einer Logit-Funktion, die über den Parameter Lambda kalibriert wird. Dies kann entweder relationsbezogen (individuelles Lambda) oder für die ganze Datenbank (Einheits-Lambda) geschehen.
- Folgende Situationen der OD in der Referenz, können zu auffälligen oder gar unrealistischen Verhaltensweisen führen:
 - Modal Split gleich 0 % oder gleich 100%
 - Wege MIV fast gleich Wege ÖV (= besonders kleine oder grosse Lambdas)
 - Widerstand ÖV ist kleiner als der des MIV. Aber gleichzeitig ist der Modal Split auch kleiner oder umgekehrt (negative Lambdas)

Ermittlung des resultierenden Modal Splits eines Hebels

- Ermittlung der Modal-Split-Veränderung unter Verwendung des Einheits-Lambdas in der Referenz und im Hebel
- Ermittlung der resultierenden Modal-Split-Veränderung
- Resultierender Modal Split der OD = Modal Split in der Referenz + resultierende Modal-Split-Veränderung

sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

Modal Split Methodik (2)



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

Modal Split Methodik (3)

Annahmen in diesem Beispiel

ModalSplit der betrachteten
OD in der Referenz:
10 %

Einheits-Lambda:
0.03

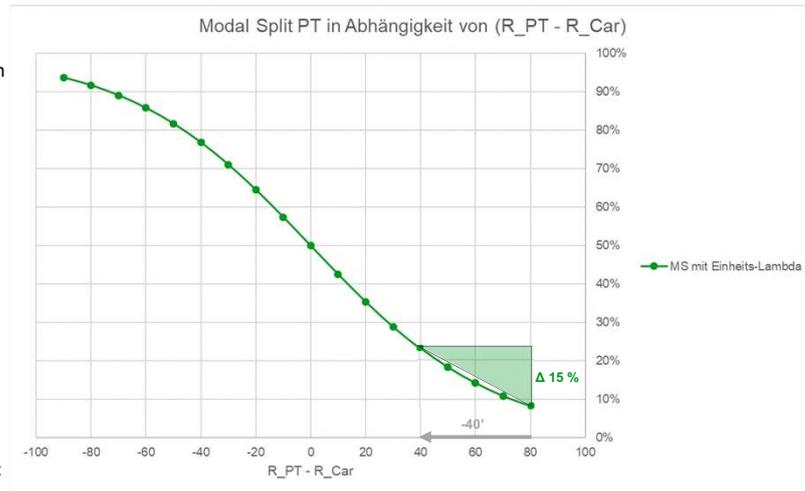
Veränderung des ÖV-
Widerstands im
betrachteten Hebel:
-40'

Zwischenergebnis

Modal-Split-Veränderung:
+15 %

Endergebnis

Resultierender Modal-Split:
+25 %



Induzierte Fahrten Methodik (1)

- Ansatz aus Studie «Determinanten der Verkehrsentstehung» 2005, (UBA, S. 46 ff)
- «Von induziertem Verkehr ist dann zu sprechen, wenn durch den Bau oder Ausbau von Infrastruktur [hier: Angebotsverbesserung] ein Verkehrszuwachs stattfindet, der ohne diese Maßnahme nicht stattgefunden hätte. Hier geht es um zusätzliche Fahrten zu neuen Zielen, häufigere Fahrten zu vorher schon angesteuerten Zielen, Veränderung der Zielwahl und Veränderung der Standortwahl.»
- Konkreter Ansatz nach SACTRA*: pro 10 % Zeiteinsparung 5 bis 10 % induzierter Verkehr (Elastizitätskoeffizient -0,5 bis -1). Dieser Wert kommt aus dem Strassenverkehr.
- Nach Haag** fällt die Zunahme in hochverdichteten Räumen deutlich geringer aus als in ländlichen Räumen.
- Die Standardisierte Bewertung*** für Projekte im Nahverkehr wählt einen anderen Ansatz und kommt mit diesen tendenziell zu tieferen Verlagerungszahlen:

* SACTRA (1994): The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Department of Transport: Trunk Roads and the Generation of Traffic, London, zitiert nach UBA

** Haag, Günter et al. (2000): Induzierter Verkehr – Verfahrens Anpassung, Anwendungsfälle und Zuschlagfaktoren, Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 96.573/1999 im Auftrag des BMVBW, Stuttgart, zitiert nach UBA

*** Standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen im schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehr, Version 2016, Verfahrensanleitung

sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

Ansatz standardisierte Bewertung:

$$F_{\text{induziert}} = \left(F_{\text{induziert}} \cdot \frac{E_{\text{Liniar}}}{2} \right) \cdot \frac{(W_{\text{induziert}} - W_{\text{ÖPNV}}) \times 0,3}{W_{\text{ÖPNV}}} \quad (B4)$$

mit
 $F_{\text{induziert}}$ Anzahl aller induzierten ÖPNV-Fahrten im Mittel
 $F_{\text{induziert}}$ Anzahl aller Fahrten im Nachfragesegment „Erwachsene“ je Werktag im ÖPNV von einer Quelle i zu einem Ziel j im ÖPNV
 $F_{\text{induziert}}$ Anzahl aller Fahrten je Werktag von einer Quelle i zu einem Ziel j, die im Mittel gegenüber dem ÖPNV zwischen MIV und ÖPNV verlagert werden
 $W_{\text{induziert}}$ Gesamtwiderstand ÖPNV auf der Relation i | im Mittel
 $W_{\text{ÖPNV}}$ Gesamtwiderstand ÖPNV auf der Relation i | im ÖPNV

Induzierte Fahrten Methodik (2)

Zweistufiges Vorgehen:

Schritt 1

Berechnung mit Elastizitätsfaktoren in Abhängigkeit der eingesparten Reisezeitäquivalente.

Schritt 2

Teilweise Kompensation im Langsamverkehr in Abhängigkeit von der Reisedistanz

Schritt 1: Elastizitäten

- Wahl von **Elastizitätsfaktoren** in Abhängigkeit der des Raumtyps
- Anwendung auf die eingesparten **Reisezeitäquivalente** im ÖV
- Für den ÖV wird angenommen, dass die Elastizitäten etwas tiefer liegen als bei SCATRA (Tabelle rechts)

Schritt 2: Kompensation

- Die so im ÖV induzierten Fahrten stammen aus einem bimodalen Ansatz mit MIV und ÖV. Tatsächlich ist der so induzierte Verkehr teilweise vom Velo- und Fussgängerverkehr verlagert.
- Um diese Effekte korrekt im NPVM mit vier Modi integrieren zu können, werden die so ermittelten «induzierten Weg» in einem zweiten Arbeitsschritt wie folgt «verrechnet»:
 - Bei Entfernung grösser 5 km erfolgt keine Kompensation. Das heisst, die berechneten induzierten Fahrten sind zu 100 % echter Neuverkehr.
 - Bei Entfernungen zwischen 1 und 5 km: 1/3 der Fahrten wird beim Veloverkehr abgezogen.
 - Bei Entfernungen kleiner 1 km: Je 1/3 der Fahrten werden beim Velo- bzw. Fussverkehr abgezogen.

Gewählte Elastizitäten:

Ziel Quelle	Stadt	Intermediär, Touristisch, Ausland	Land
Stadt	-0.3	-0.4	-0.5
Intermediär, Touristisch, Ausland	-0.4	-0.5	-0.6
Land	-0.5	-0.6	-0.7

sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

Segmentierungen

Gruppe	Parameter	Nr	Abstrahierter Titel	Datenbankabfrage: Der jeweilige Hebel wird nur auf OD angewendet, ... *
A	-	1	Pauschal	(Alle OD werden gleich behandelt.)
B	Distanz	2	Kurze Distanzen	... deren Distanz < 10 km ist.
		3	Mittlere Distanzen	... deren Distanz >= 10 und < 50 km ist.
		4	Lange Distanzen	... deren Distanz >= 50 km ist.
C	Distanz & Raumtyp	5	Verkehr in den Städten	... die die Kombination städtisch – städtisch aufweisen und deren Distanz < 20 km ist.
		6	Verkehr zwischen Städten	... die die Kombination städtisch – städtisch aufweisen und deren Distanz >= 20 km ist.
		7	Verkehr zwischen (peri)urbanen Räumen	... die die Kombinationen städtisch – periurban oder periurban – periurban aufweisen und deren Distanz >= 20 km ist.
		8	Verkehr von/nach Städten (Radialverkehr)	... die die Kombinationen städtisch – periurban und Distanz < 20 km oder städtisch – ländlich aufweisen
		9	Periurbaner Verkehr	... die die Kombinationen periurban – periurban mit Distanz < 20 km oder periurban – ländlich
		10	Ländlicher Verkehr	... die die Kombinationen ländlich – ländlich aufweisen.
		11	Touristisch geprägter Verkehr	... die die Kombinationen städtisch – touristisch oder periurban – touristisch oder ländlich – touristisch oder touristisch – touristisch oder touristisch – Ausland aufweisen.
		12	Verkehr mit dem Ausland über kurze Distanzen	... die die Kombinationen städtisch – Ausland oder periurban – Ausland oder ländlich – Ausland oder Ausland – Ausland aufweisen und deren Distanz < 20 km ist.
		13	Verkehr mit dem Ausland über lange Distanzen	... die die Kombinationen städtisch – Ausland oder periurban – Ausland oder ländlich – Ausland oder Ausland – Ausland aufweisen und deren Distanz >= 20 km ist.
D	Nähe zum Bahnhof	14	Zonen mit Bahnhofsnahe	... deren Zonen maximal 1 km vom Bahnhof entfernt sind.
		15	Zonen ohne Bahnhofsnahe	... deren Zonen mehr als 1 km vom Bahnhof entfernt sind.

* Alle OD-Kombinationen gelten auch umgekehrt.

sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

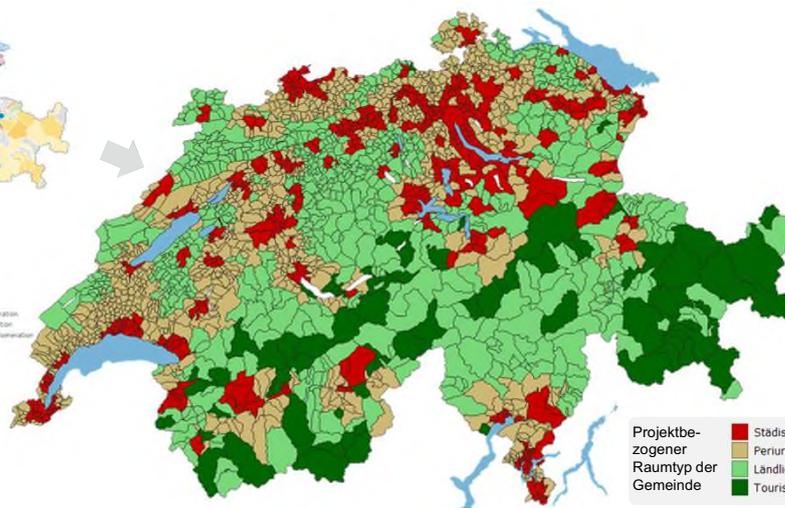
Herleitung des Parameters Raumtyp

Input



- Kernstadt einer grossen Agglomeration
- Städtische A-fachplatzgemeinde einer grossen Agglomeration
- Städtische Wohnkommune einer grossen Agglomeration
- Kernstadt einer mittelgrossen Agglomeration
- Städtische A-fachplatzgemeinde einer mittelgrossen Agglomeration
- Städtische Wohnkommune einer mittelgrossen Agglomeration
- Städtische Touristengemeinde einer kleinen oder ausserhalb einer Agglomeration
- Städtische Industriegemeinde einer kleinen oder ausserhalb einer Agglomeration
- Städtische Dienstleistungsgemeinde einer kleinen oder ausserhalb einer Agglomeration
- Periurbane Industriegemeinde hoher Dichte
- Periurbane Dienstleistungsgemeinde hoher Dichte
- Periurbane Industriegemeinde mittlerer Dichte
- Periurbane Dienstleistungsgemeinde mittlerer Dichte
- Periurbane Agrogemeinde geringer Dichte
- Periurbane Industriegemeinde geringer Dichte
- Periurbane Dienstleistungsgemeinde geringer Dichte
- Touristengemeinde eines städtischen Zentrums
- Industriegemeinde eines städtischen Zentrums
- Dienstleistungsgemeinde eines städtischen Zentrums
- Ländliche zentral gelegene Agrogemeinde
- Ländliche zentral gelegene Industriegemeinde
- Ländliche zentral gelegene Dienstleistungsgemeinde
- Ländliche peripher gelegene Touristengemeinde
- Ländliche peripher gelegene Agrogemeinde
- Ländliche peripher gelegene Dienstleistungsgemeinde

Output



- Projektbezogener Raumtyp der Gemeinde
- Städtisch
- Periurban
- Ländlich
- Touristisch

sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

Herleitung des Parameters «Entfernung zum Bahnhofs»

- Zone des NPVM mit einer maximalen Entfernung von 1 km zum nächsten Bahnhof
- Bahnhof
- Zone mit einer Entfernung von grösser 1 km zum nächsten Bahnhof



Wert 1	Wert 2	2017	2050 Referenz	2050 Test 16	Veränderung Test 16 ggü. 2017	Veränderung Test 16 ggü. 2050 Referenz
1'000 Wege	MIV	15'891	16'488	14'264	-1'627	-2'225
pro Werktag	ÖV	4'316	5'126	8'194	+3'878	+3'068
	Velo	2'803	4'835	4'745	+1'942	-90
	FGV	10'489	12'621	12'610	+2'121	-12
	Summe	33'499	39'071	39'813	+6'314	+742
Mio. Pkm	MIV	95'430	88'800	70'382	-25'047	-18'418
pro Jahr	ÖV	25'950	33'700	56'390	30'441	+22'690
	Velo	2'480	5'100	4'990	2'510	-110
	FGV	3'970	4'900	4'893	923	-7
	Summe	127'830	132'500	136'656	8'827	+4'156
Modal Split	MIV	47%	42%	36%	-12%	-6%
(Wege)	ÖV	13%	13%	21%	8%	7%
	Velo	8%	12%	12%	4%	0%
	FGV	31%	32%	32%	0%	-1%
	Summe	100%	100%	100%	0%	0%
Modal Split	MIV	75%	67%	52%	-23%	-16%
(Pkm)	ÖV	20%	25%	41%	21%	16%
	Velo	2%	4%	4%	2%	0%
	FGV	3%	4%	4%	0%	0%
	Summe	100%	100%	100%	0%	0%
Mio. t CO2-equ.	MIV		0.0	0.0		-0.0
pro Jahr	ÖV		0.0	0.0		+0.0
(unterer Wert)	Summe		0.0	0.0		-0.0
Mio. t CO2-equ.	MIV		3.5	2.7		-0.7
pro Jahr	ÖV		0.3	0.5		+0.2
(oberer Wert)	Summe		3.8	3.3		-0.5
PJ-equ.	MIV		53	42		-11.1
pro Jahr	ÖV		12	20		+7.9
(unterer Wert)	Summe		65	62		-3.1
PJ-equ.	MIV		67	53		-13.8
pro Jahr	ÖV		13	23		+9.1
(oberer Wert)	Summe		80	75		-4.7
<u>Erläuterungen:</u>						
2050 Test 16: Wirkungen unter Annahme pauschale Verbesserung der drei Hebel (vgl. Berichtshauptteil)						
Mengengerüst 2017 mit projektbezogenen Annahmen						
Wege: inkl. Wege mit dem Ausland						
Pkm: inkl. der Wege mit dem Ausland (Pkm in der Schweiz)						
Pkm-Ermittlung auf Basis der Wege- und Distanz-Matrizen (keine Umlegung)						
CO2- und Energie-Faktoren: vgl. Berichtshauptteil						

Perspektive Bahn 2050 Studie zu Kernsatz 3

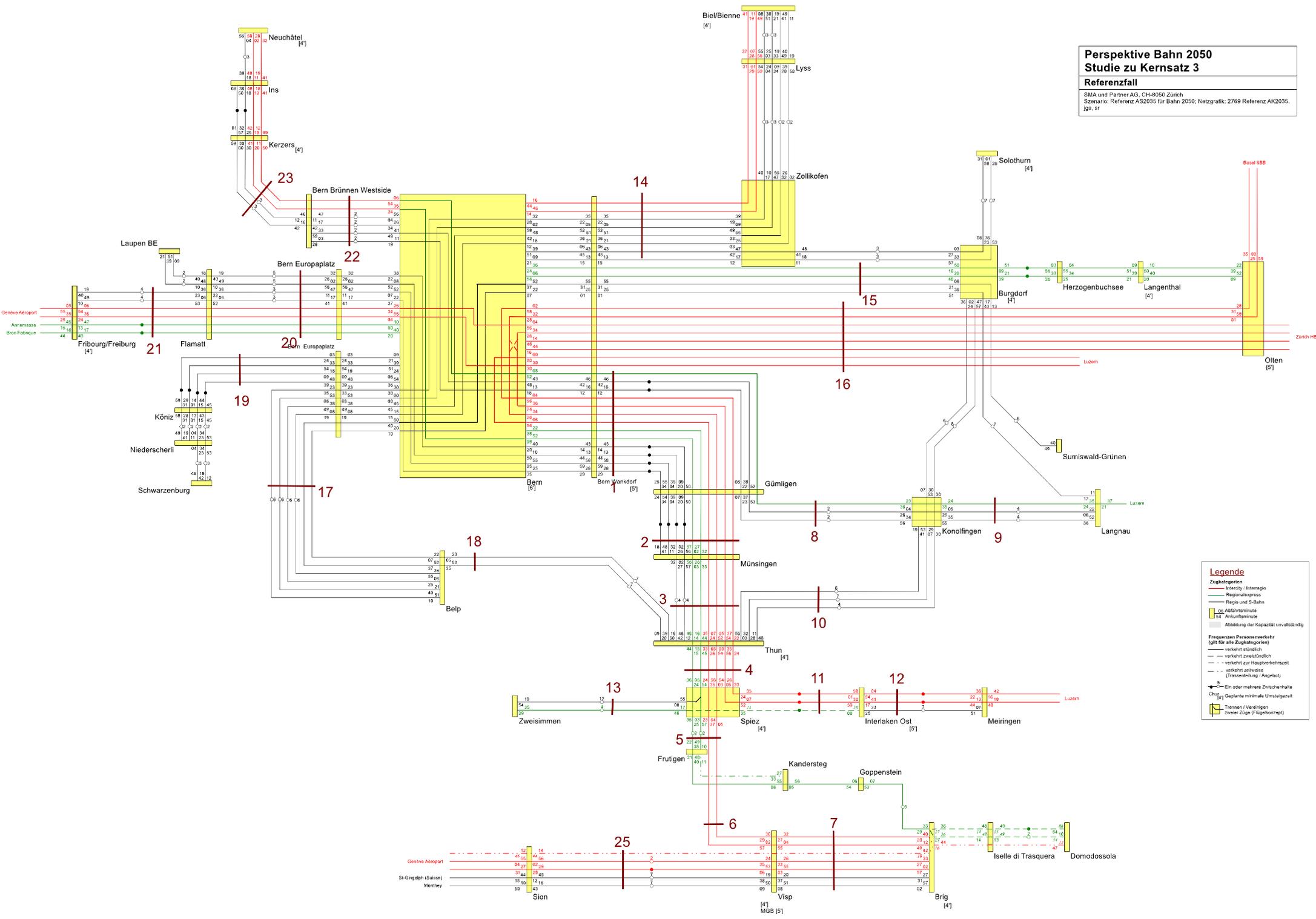
Referenzfall

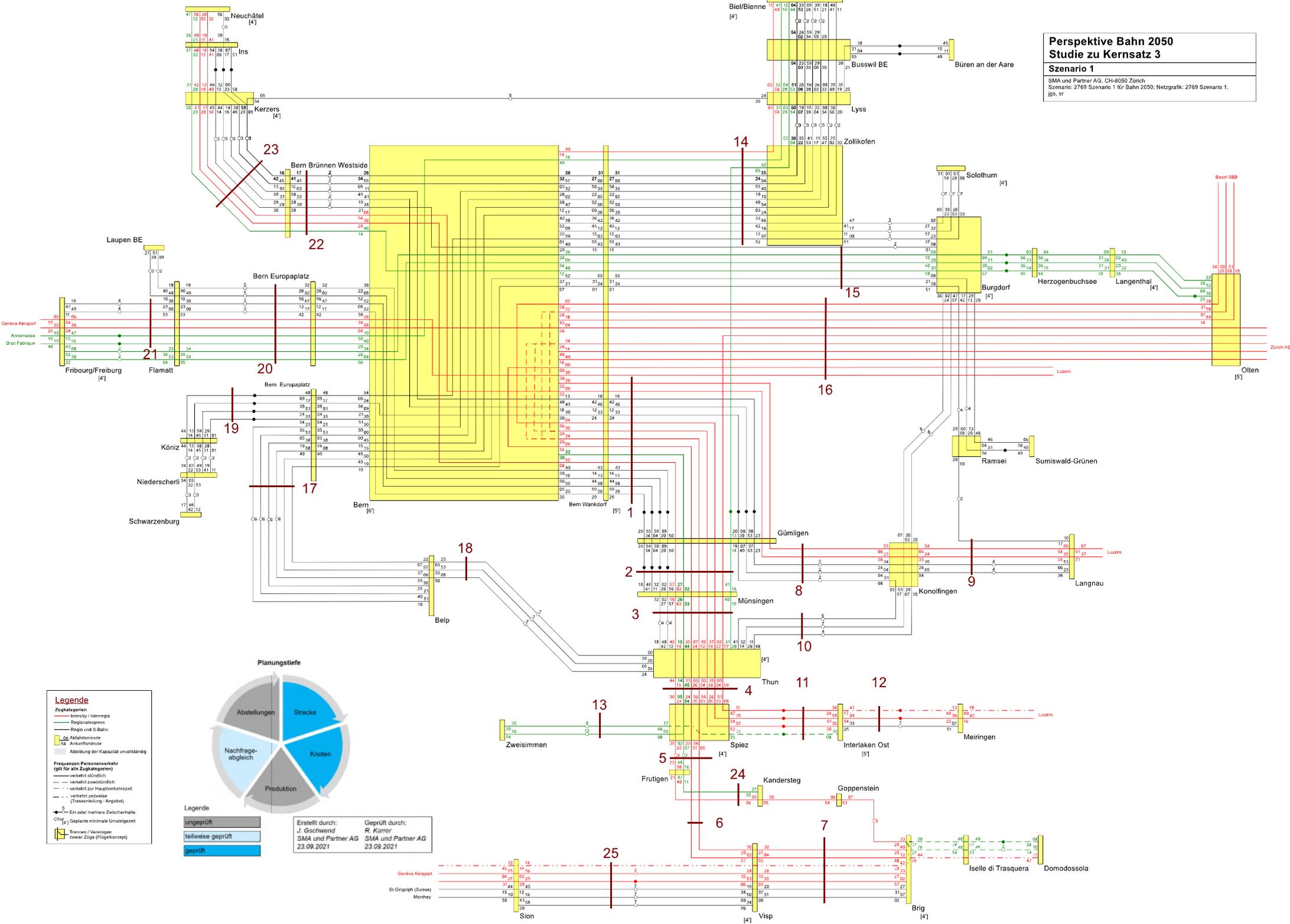
SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich
Szenario: Referenz AS2035 für Bahn 2050; Netzgrafik: 2769 Referenz AK2035.
jg8, 8r

Legende

- Zugkategorien**
- Intercity / Intersgno
 - Regionalexpress
 - Regio und S-Bahn
 - 06 Adferstomminute
 - 04 Ankunftsminute
 - Abbildung der Kapazität unvollständig

- Frequenzen Personenverkehr (gilt für alle Zugkategorien)**
- verkehrt stündlich
 - - - verkehrt zweistündlich
 - · - verkehrt zur Hauptverkehrszeit
 - · - verkehrt zeitweise (Trossenlösung / Angebot)
 - 5 Ein oder mehrere Zwischenhalte
 - ChA₁ Kapazität minimale Umsteigzeit
 - 5 Trennen / Halten
 - 5 Zweier Züge (Flügelkonzept)





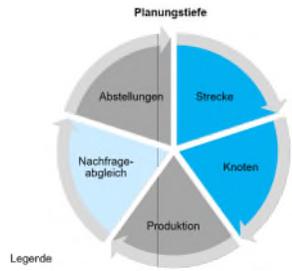
Legende

Zugkategorien

- Intercity / Interegio
- Regionalexpress
- Regio und S-Bahn
- Abfahrtsminute
- Zusatzstunde
- Abbildung der Kapazität unvollständig

Frequenzen Personenverkehr (gilt für alle Zugkategorien)

- verkehr stündlich
- verkehr zweistündlich
- verkehr zur Hauptverkehrszeit
- verkehr zeitweise (Tagesleistung / Angebot)
- Ein oder mehrere Zwischenhalte
- 1) Separate minimale Umstiegszeit
- Teilweise / Weniger
- Zwei Züge (Flugkonzept)



Legende

- ungeprüft
- teilweise geprüft
- geprüft

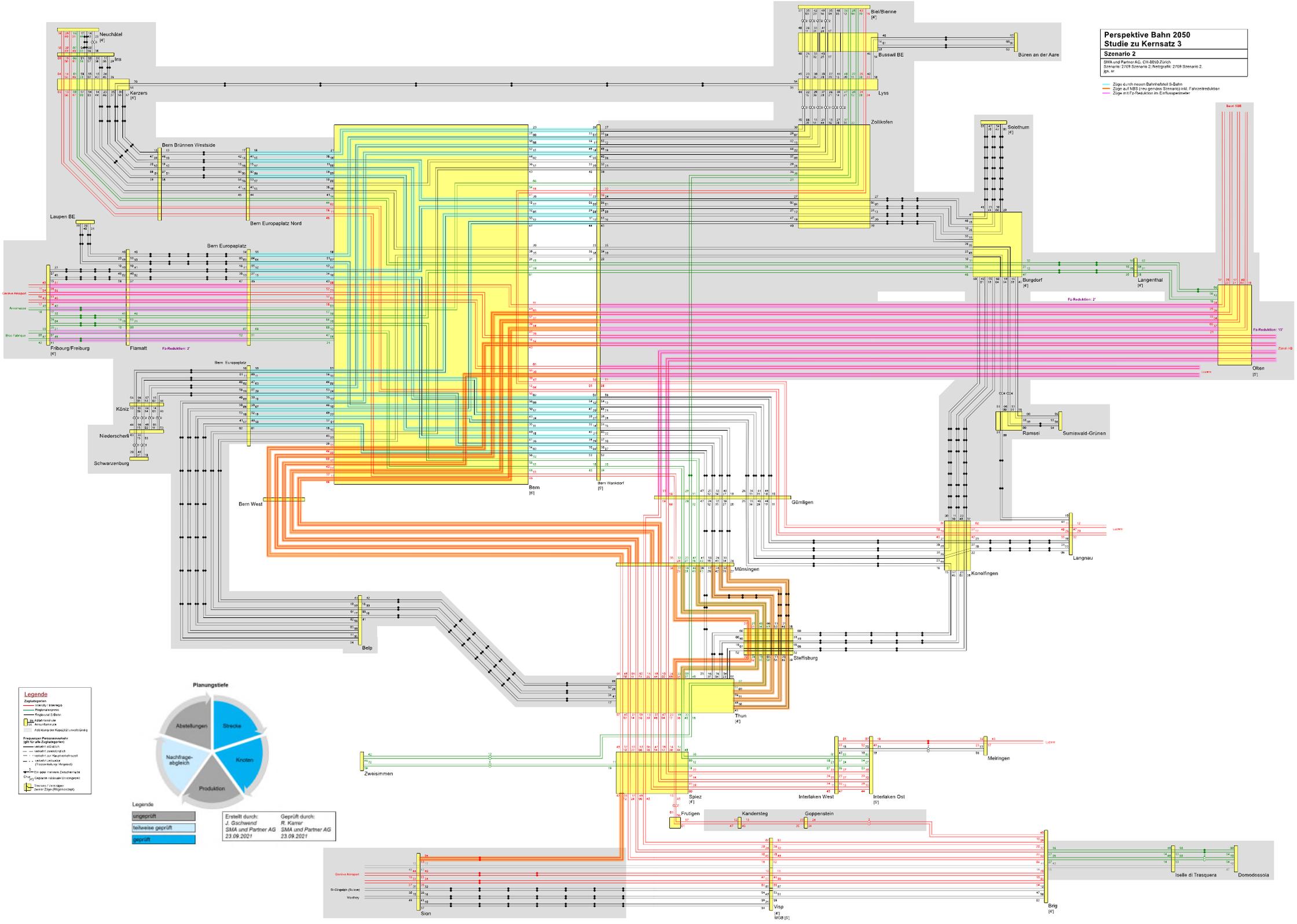
Erstellt durch: J. Gschwend
SMA und Partner AG
23.09.2021

Geprüft durch: R. Körner
SMA und Partner AG
23.09.2021

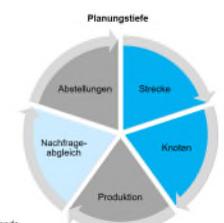


Perspektive Bahn 2050
Studie zu Kernsatz 3
Szenario 2
 SMA und Partner AG, CH-8002 Zürich
 Szenario 2/19 Szenario 2: Netzplan: 2/19 Szenario 2: 09.10

— Züge durch neuen Bahnhofs-B-Bahn
 — Züge auf ABS (neues Szenario) inkl. Fahrzeitreduktion
 — Züge mit Fz-Reduktion in Erlösplanwert



- Legende**
- Zustellstation
 - Abfertigung
 - Produktion
 - Nachfrage-ableich
 - Strecke
 - Knoten



Legende

ungeprüft
 teilweise geprüft
 geprüft

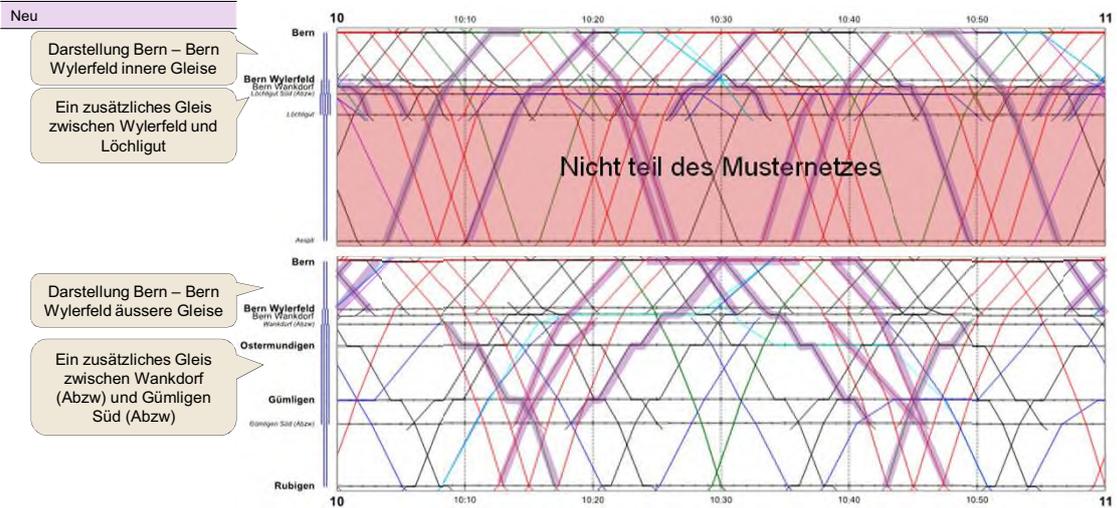
Erstellt durch:
 J. Glaswald
 SMA und Partner AG
 23.09.2021

Geprüft durch:
 R. Kämmer
 SMA und Partner AG
 23.09.2021



SZENARIO 1

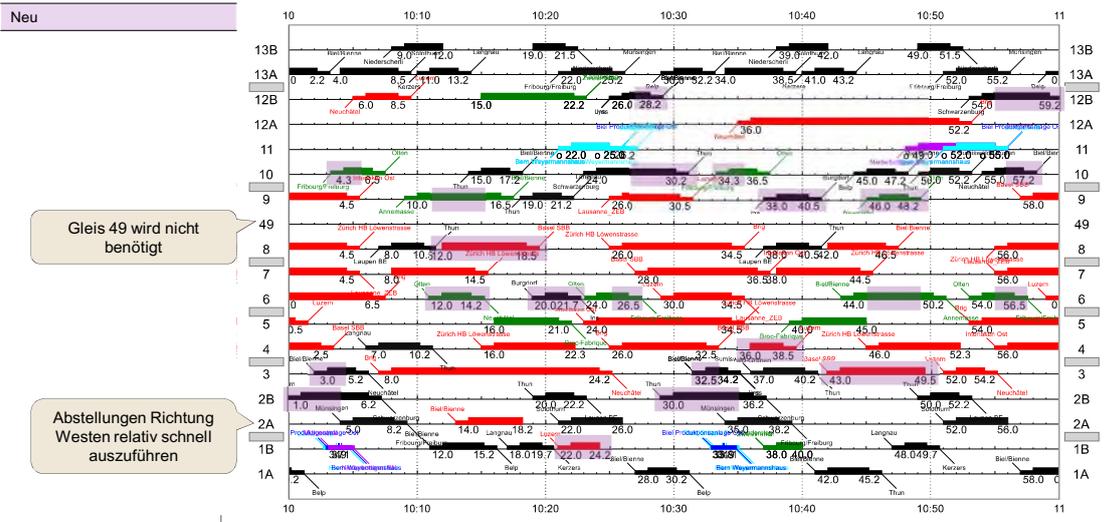
Grafischer Fahrplan Bern Ostkopf



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Bern



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

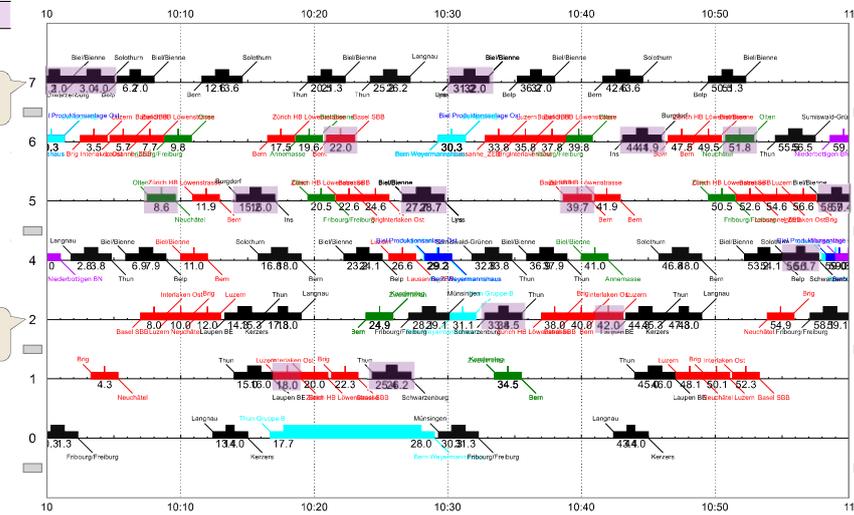
SZENARIO 1

Gleisbelegung Bern Wankdorf

Neu

Zusätzliches Gleis Wankdorf Nord

Ein Gleis Richtung Süden ist genügend



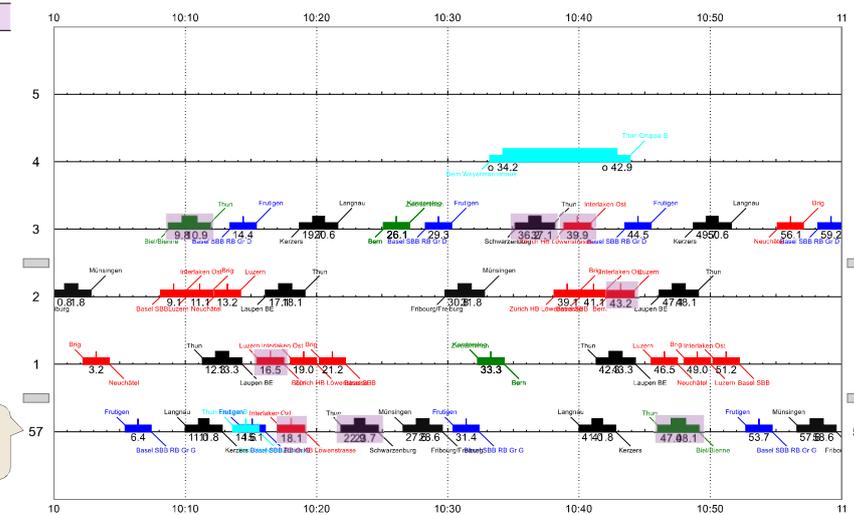
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Ostermündigen

Neu

Zusätzlich befahrbares Gleis mit Haltemöglichkeit



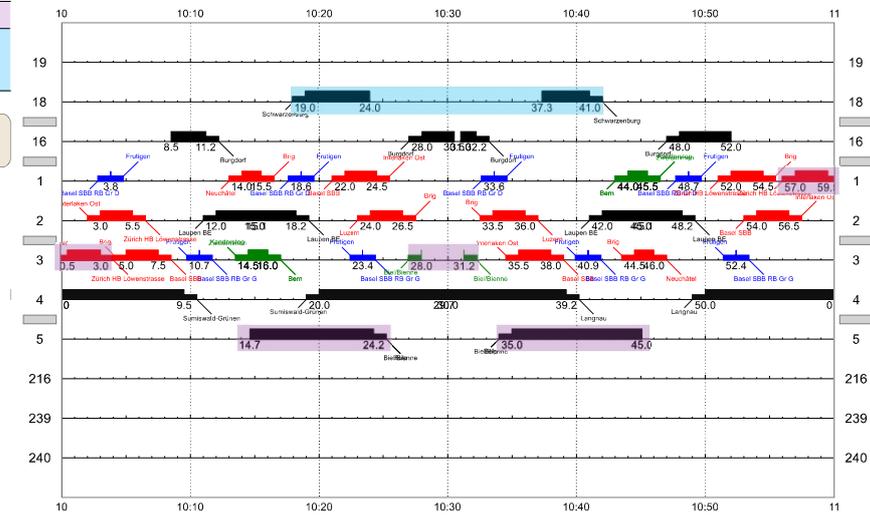
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Thun

Neu
Stark verändert
(Taktlage gegenüber Referenz
um mehr als 2 min verschoben)

Referenzinfrastruktur
genügt für Szenario 1



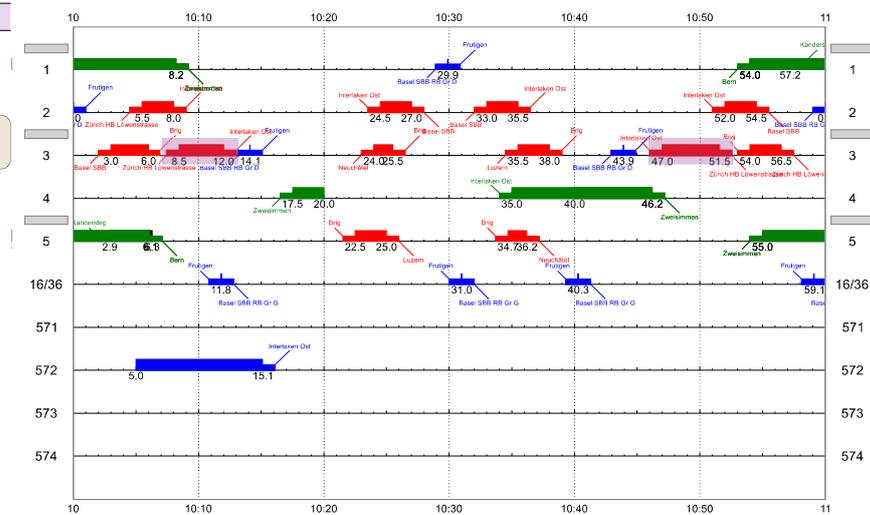
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Spiez

Neu

Referenzinfrastruktur
genügt für Szenario 1

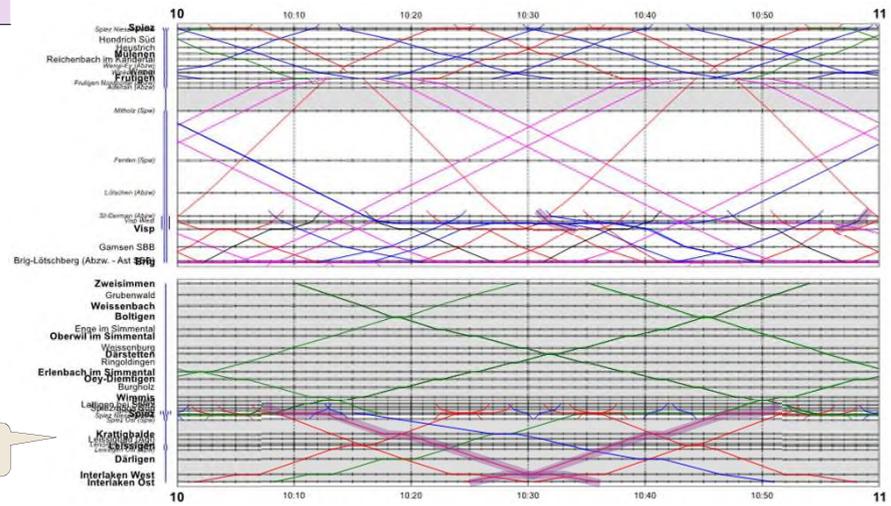


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Grafischer Fahrplan Spiez

Neu



Angepasste Kreuzungsstelle in Krattighalde

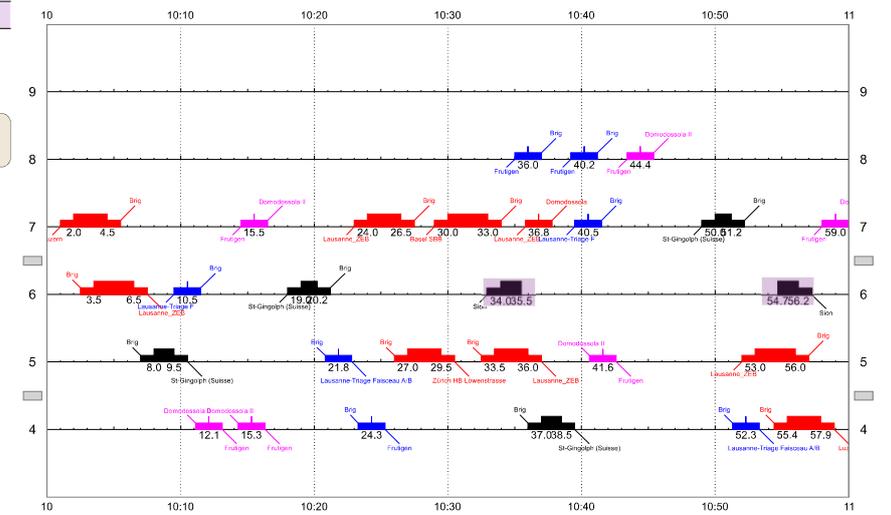
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Visp

Neu

Referenzinfrastruktur genügt für Szenario 1



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

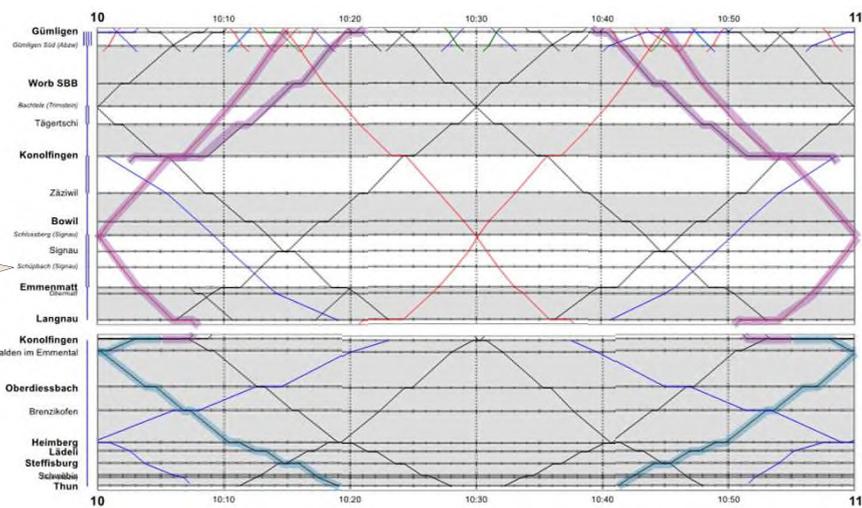
SZENARIO 1

Grafischer Fahrplan Emmental

Neu
 Stark verändert
 (Taktlage gegenüber Referenz
 um mehr als 2 min verschoben)

Verlängerte Doppelspur
 Signau bis Emmenmatt

Neue Kreuzungsstelle
 Stalden i.E.

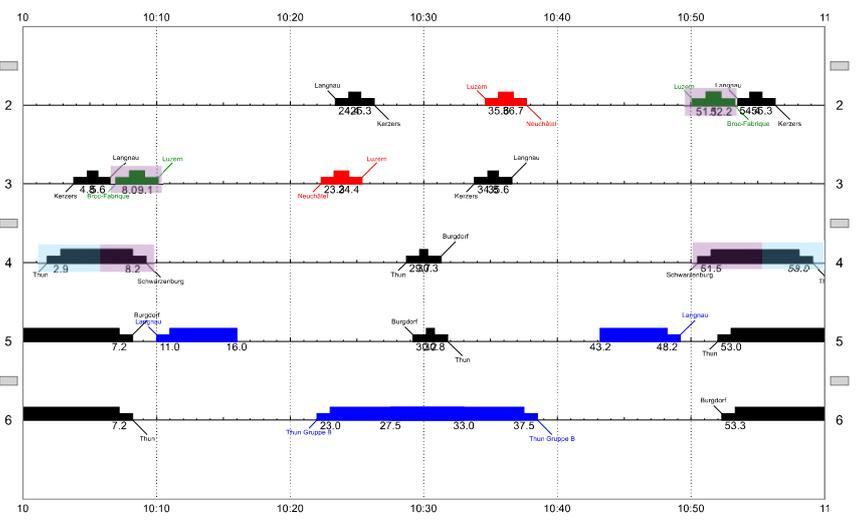


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Gleisbelegung Konolfingen

Neu
 Stark verändert
 (Taktlage gegenüber Referenz
 um mehr als 2 min verschoben)

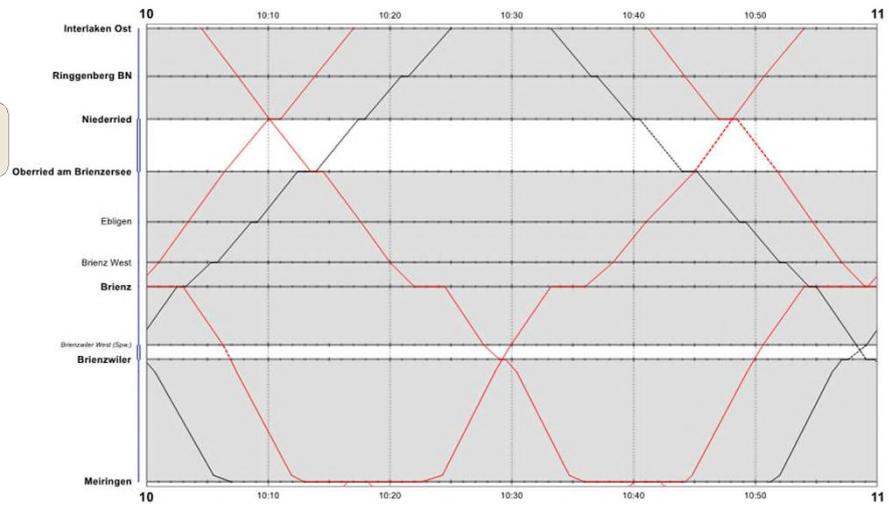


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 1

Grafischer Fahrplan Zentralbahn

Keine Veränderung des Fahrplans gegenüber der Referenz

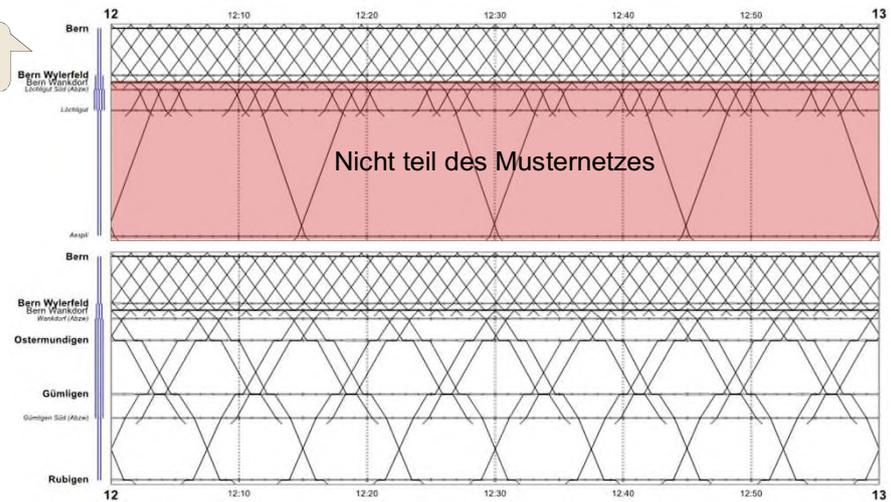


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Grafischer Fahrplan Bern Ostkopf S-Bahn

Neue S-Bahn-Strecke
Löchligen / Ostermundigen –
Bern (Tiefbahnhof S-Bahn)

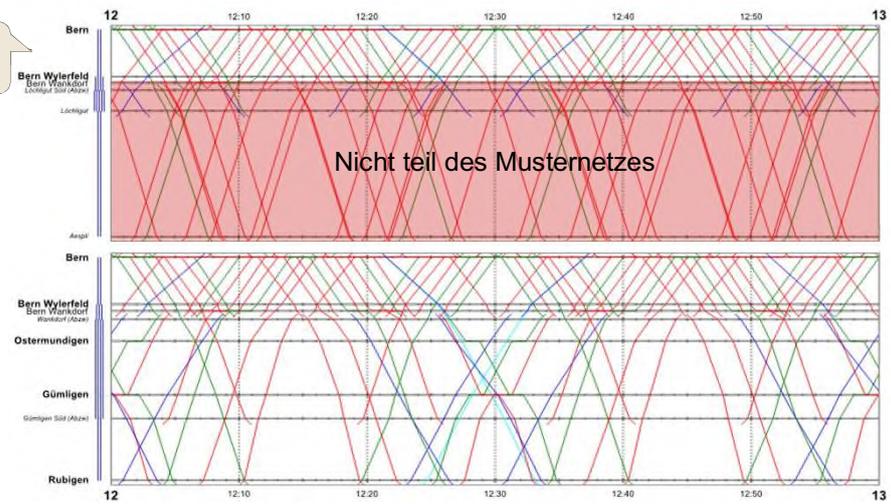


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Grafischer Fahrplan Bern Ostkopf Rest

Neue FV-Strecke
Wylerfeld – Bern
(Tiefbahnhof FV)

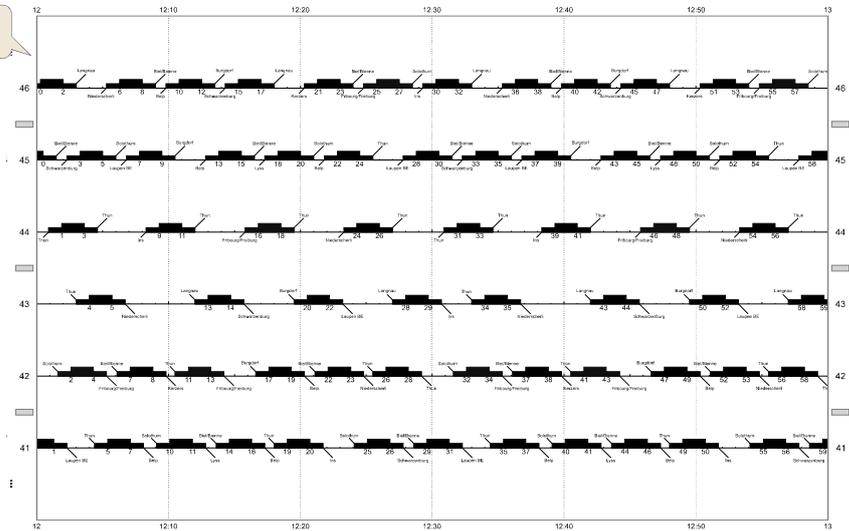


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Bern S-Bahn

6-gleisiger (mindestens)
Tiefbahnhof

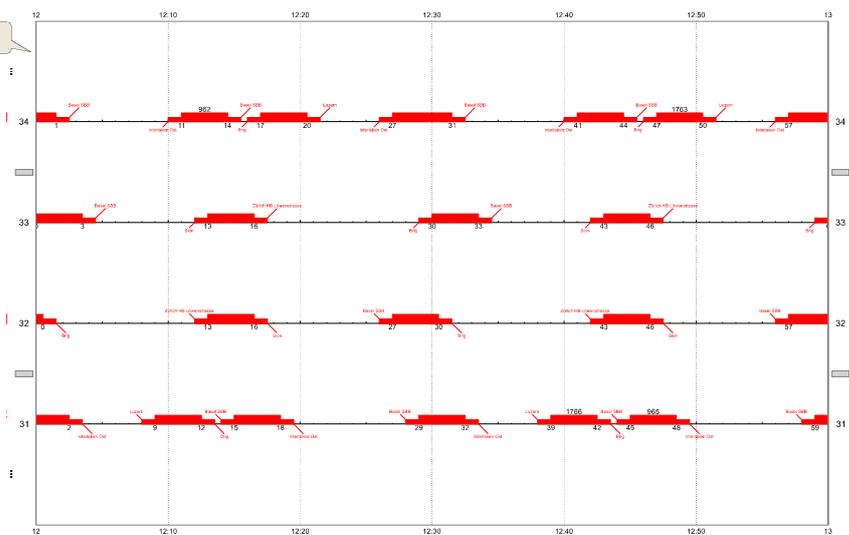


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Bern tief

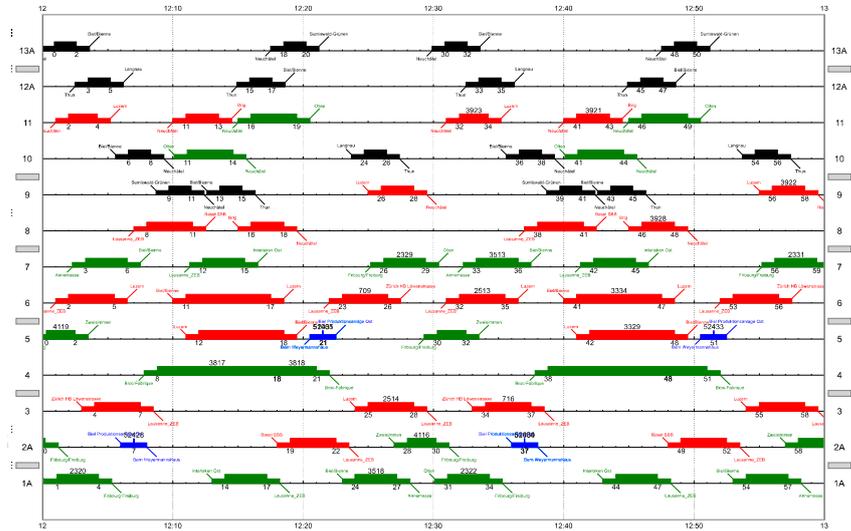
4-gleisiger Tiefbahnhof



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Bern hoch

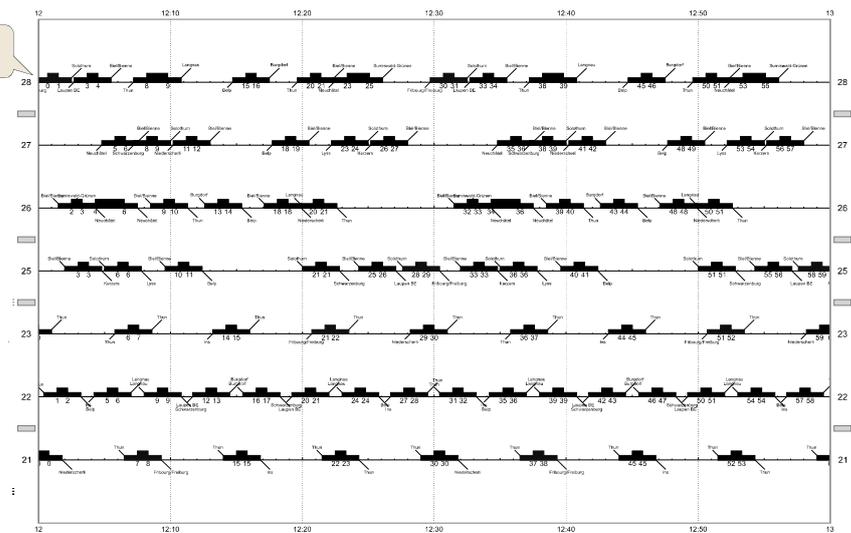


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Bern Wankdorf S-Bahn

7-gleisiger Bahnhof
(4 Nord + 3 Süd)

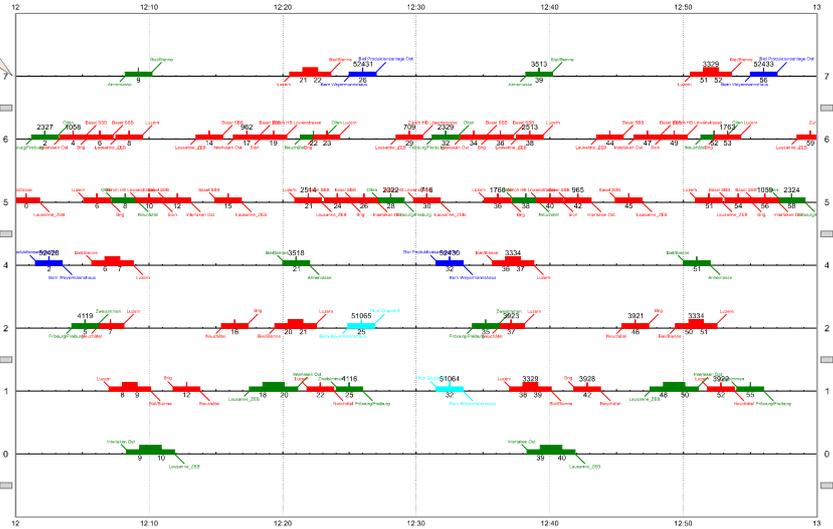


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Bern Wankdorf Fernverkehr

1 zusätzliches Gleis
(Trennung aus/von Biel)

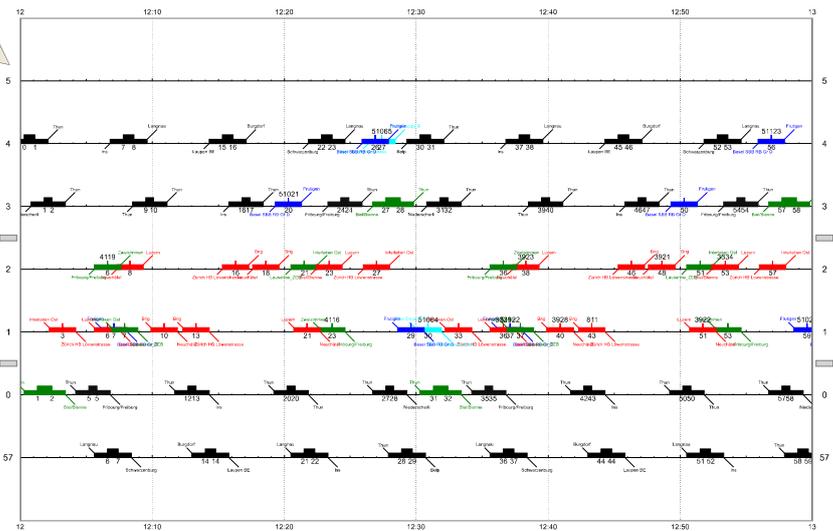


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Ostermündigen

3 zusätzliche Gleise
(3 Gleise pro Richtung)
Neue Bahnhofsköpfe
Nord/Süd

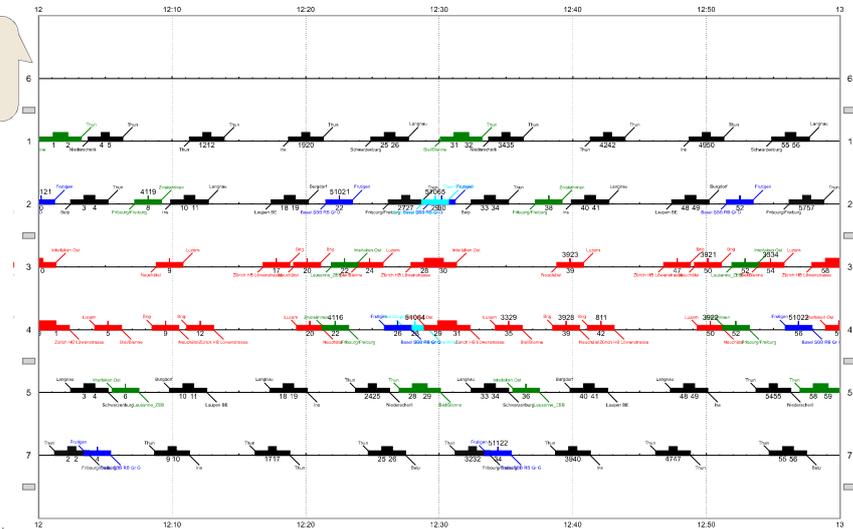


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Gümligen

1 zusätzliches Gleis
(3 Gleise pro Richtung)
Neue Bahnhofsköpfe
Nord/Süd

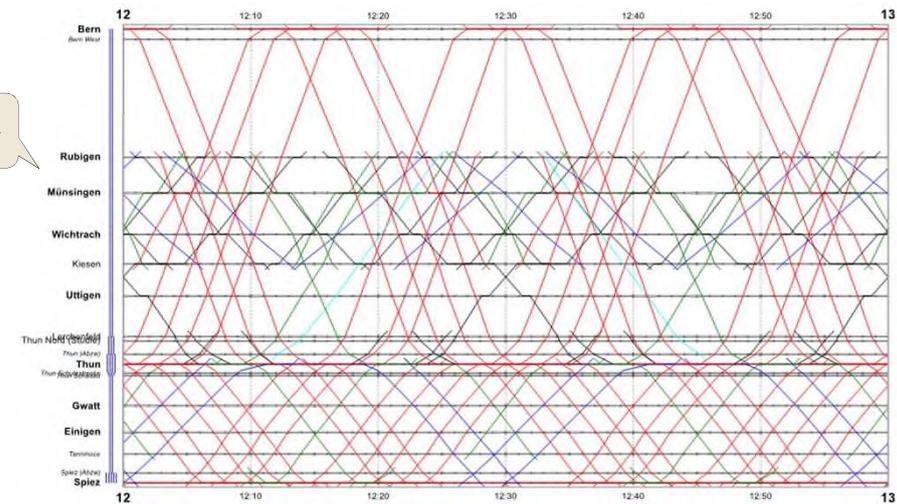


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Grafischer Fahrplan Bern – NBS – Spiez

4-gleisige Strecke
(Wankdorf –) Rubigen –
Kiesen V200

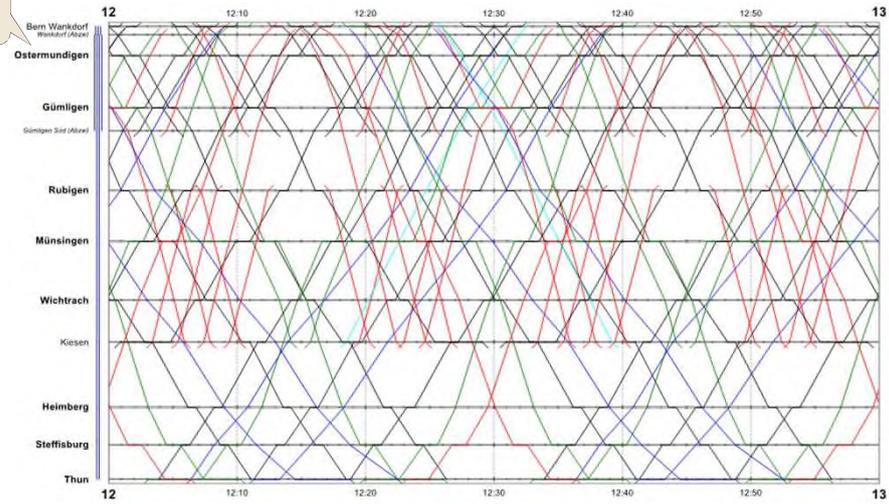


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Grafischer Fahrplan Wankdorf (Abzw) – Thun

4-gleisige Strecke
(Wankdorf –) Rubigen –
Kiesen V200

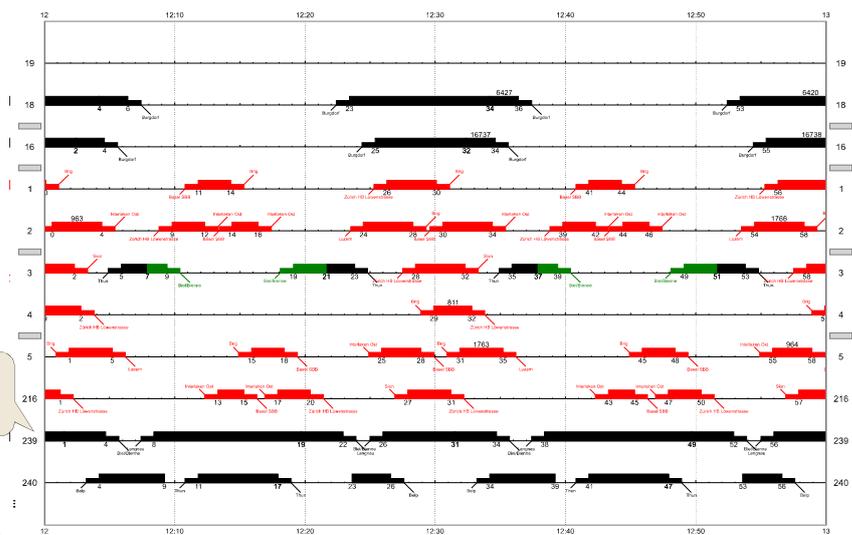


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Thun hoch

3 Gleise mehr für FV/RV
Neue Weiche
Bahnhofskopf Nord

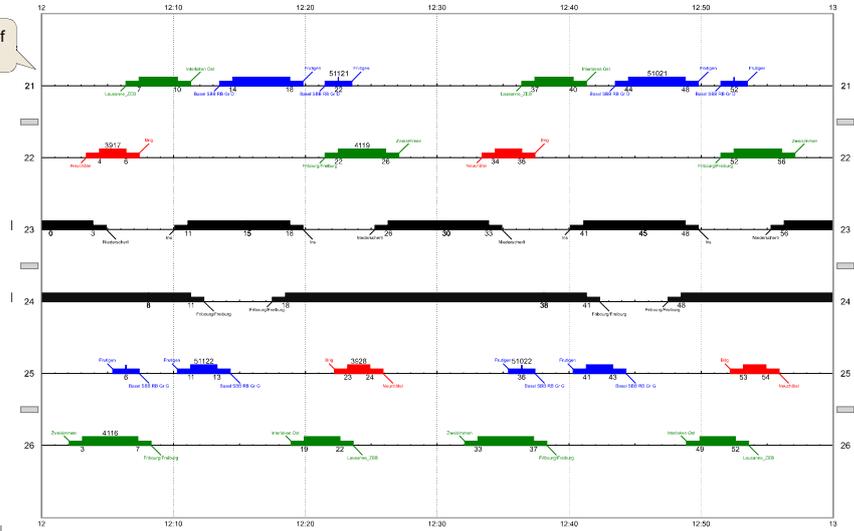


sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Thun tief

6-Gleisiger Tief-Bahnhof
(davon 2 Kopfgleise)



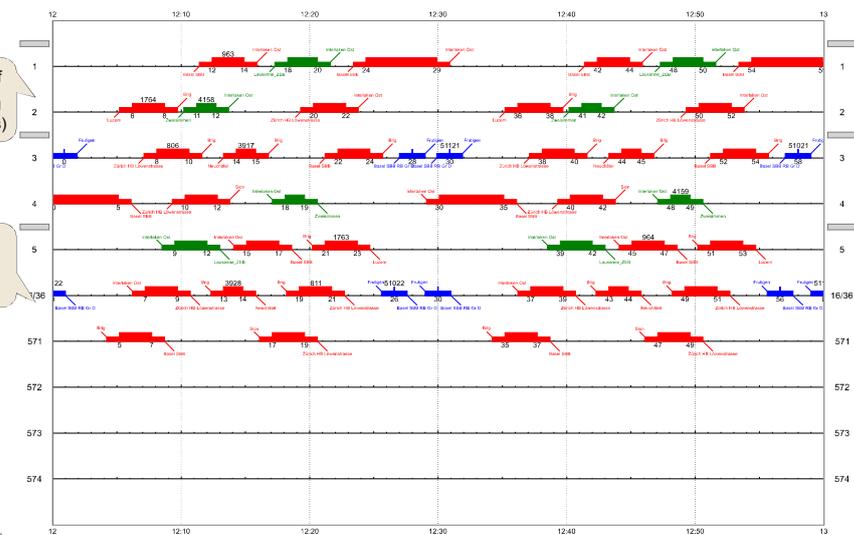
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Gleisbelegung Spiez

Überwerfung im Südkopf
Konfliktfreie Abzweigung
v/n Zweisimmen (3. Gleis)

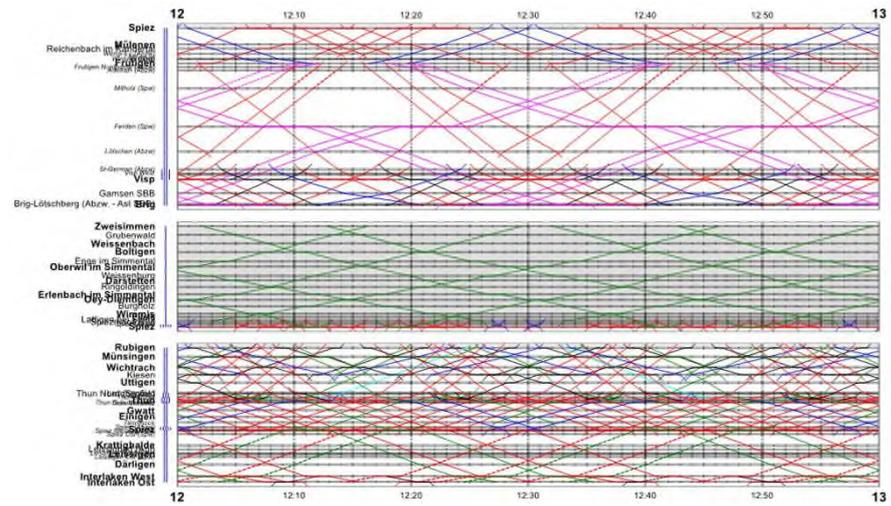
2 Gleise mehr für FV
Neue Bahnhofsköpfe
Nord/Süd



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

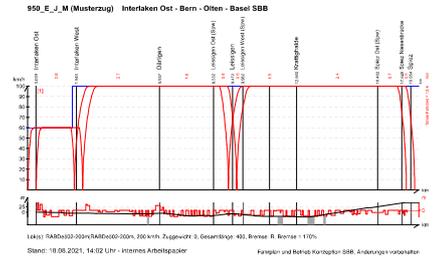
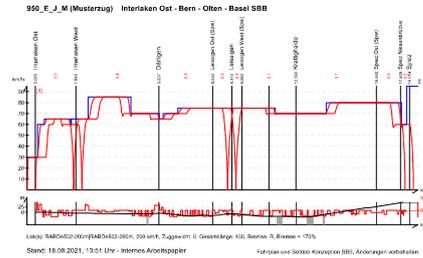
Grafischer Fahrplan Berner Oberland



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Vergleich Geschwindigkeitsprofile Interlaken – Spiez (Erhöhung auf 100 km/h)



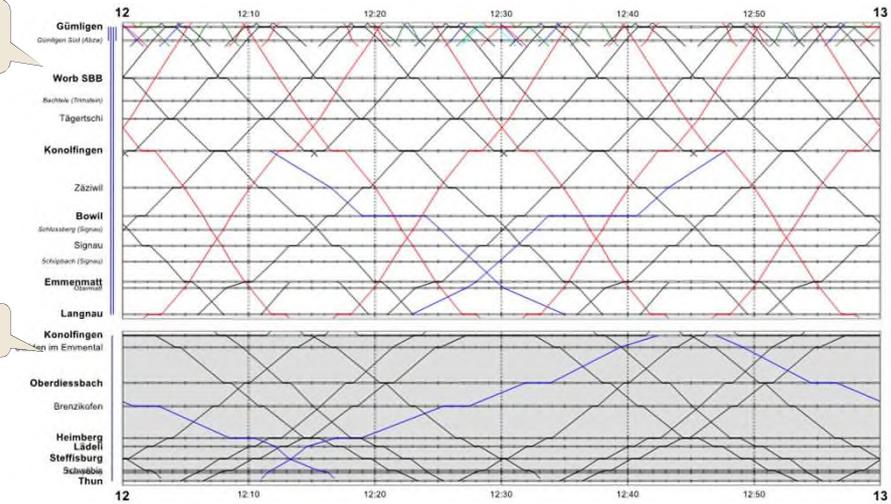
sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Grafischer Fahrplan Emmental

Doppelspurausbau
ganze Strecke Gümligen
– Konolfingen – Langnau

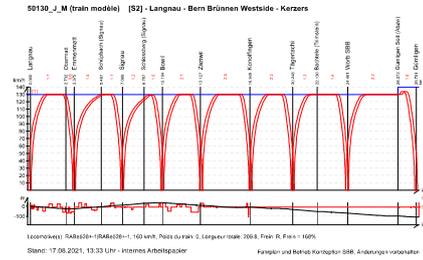
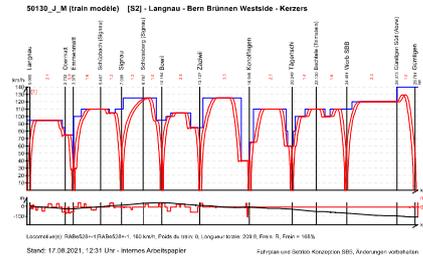
Doppelspurausbau
Heimberg – Konolfingen



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

Vergleich Geschwindigkeitsprofile Gümligen – Langnau (Erhöhung auf 130 km/h)



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3

SZENARIO 2

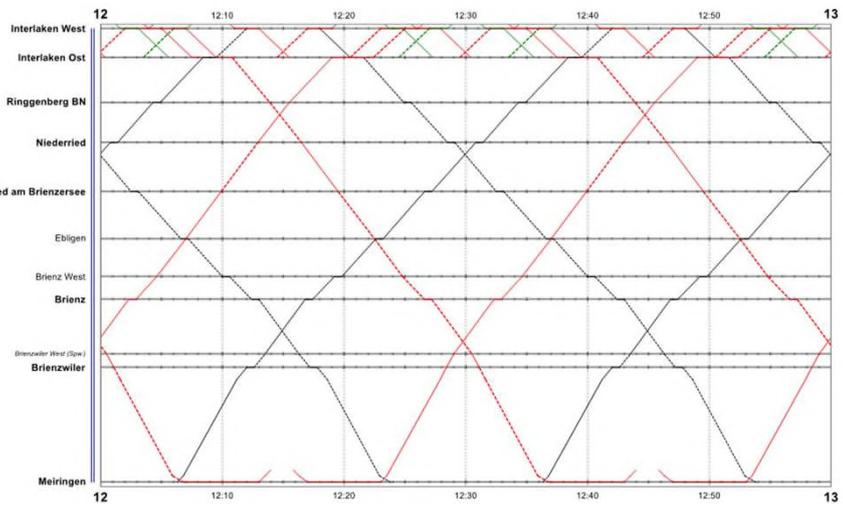
Grafischer Fahrplan Zentralbahn

3. Schiene Interlaken Ost
– Interlaken West

Doppelspurausbau
Ringgenberg – Oberried

Doppelspurausbau
Brienz – Brienzwiler
West

Doppelspurausbau
Meiringen West –
Meiringen



sma+ Perspektive Bahn 2050 - KS3