Nahverkehrsgesellschaft Baden-
Württemberg, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn

Bericht
Teil A - Fahrplankonzept

15. Dezember 2009 Version 2-00

SMA und Partner AG
Unternehmens-, Verkehrs- und Betriebsplaner
Gubelstrasse 28, CH-8050 Zürich

Telefon: +41-44-317 50 60
Telefax: + 41-44-317 50 77
info@sma-partner.ch, www.sma-partner.ch

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung
Hochrheinstrecke und
Bodensee-Gürtelbahn

Bericht
Teil A - Fahrplankonzept

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage und Aufgabenstellung 1

2. Randbedingungen und Annahmen 3
2.1 Infrastruktur 3
2.2 Angebots- und Linienkonzept 3
2.3 Angebotskonzept außerhalb Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn 5

3. Analyse Nachfragezahlen 6
3.1 Analyse IRE Basel – Schaffhausen – Singen (– Friedrichshafen) 6
3.2 Dimensionierung Gefäßgröße 10

4. Fahrzeitrechnungen / Haltezeiten 11
4.1 Referenzfahrzeug und Fahrzeiten 11
4.2 Regel-/Bauzuschlag 12
4.3 Haltezeiten 13
4.4 Ergebnisse 13

5. Angebotskonzepte 15
5.1 Grundlegende Betrachtung 15
5.2 Bezugsfall 17
5.3 RB Erzingen – Schaffhausen 17
5.4 Busknoten Wilchingen-Hallau 18

5.5 Variante 1 19
5.6 Variante 2 20
5.7 Variante 3 21
5.8 Variantenvergleich 22

6. Zielkonzept, Zielkonzept+ und Vorstufe 23
6.1 Variantenübersicht 23
6.2 Zielkonzept 23
6.2.1 Überarbeitung / Optimierungen 23
6.2.2 Elektrifizierung Bodensee-Gürtelbahn 24
6.3 Zielkonzept+ 25
6.4 Vorstufe für Zielkonzept ohne Elektrifizierung Bodensee-Gürtelbahn 26
6.4.1 Variante I 26
6.4.2 Variante II 27
6.4.3 Varianten III und IV 27
6.4.4 Zusammenfassung Vorstufen 28
6.5 Vorstufen und Zielkonzept+ 28
6.6 Gleisbelegungen 29

7. Umläufe und Fahrzeugbedarf 33

8. Zusammenfassung und Empfehlung 36

9. Verzeichnisse 38

Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung
Hochrheinstrecke und
Bodensee-Gürtelbahn

Bericht
Teil A - Fahrplankonzept

Anhänge

Fahrzeitrechnungen 1

Bezugsfall 2

Variante 1 3

Variante 2 4

Variante 3 5

Variantenvergleich 6

Zielkonzept 7

Zielkonzept+ 8

Vorstufe zum Zielkonzept 9

Umläufe und Fahrzeugbedarf 10

1. Ausgangslage und Aufgabenstellung

Zusammen mit dem Kanton Schaffhausen beauftragte das Land Baden-Württemberg die SMA und Partner AG sowie die Enotrac AG, eine Elektrifizierung der Hochrheinstrecke Basel Bad Bf – Singen (Abbildung 1) gutachterlich zu bewerten.

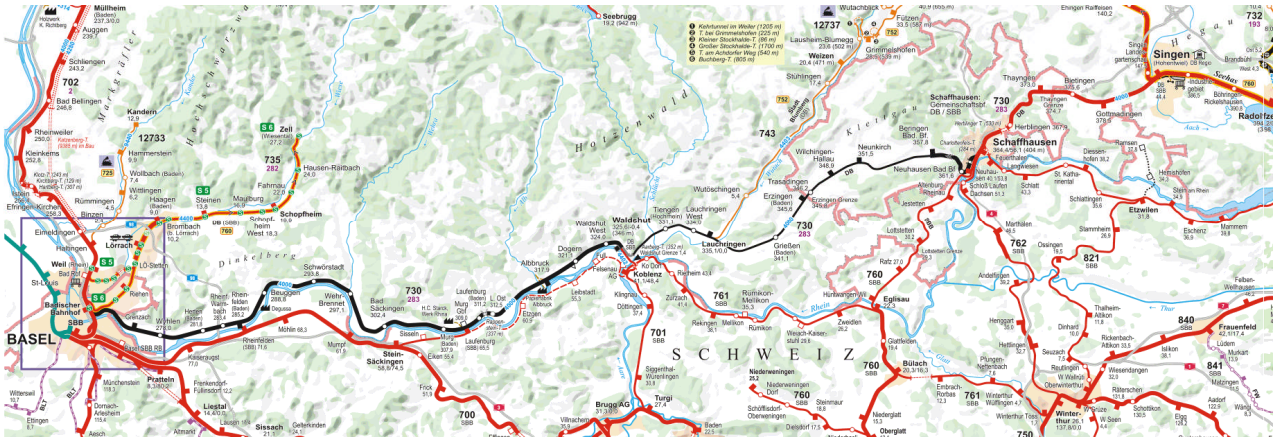


Abbildung 1 Hochrheinstrecke Basel Bad Bf – Singen

Ziel des Gutachtens ist es, die Auswirkungen der Elektrifizierung im Zusammenhang mit den ITF-Planungen des Landes Baden-Württemberg zu untersuchen. Ergebnisse sollen zum einen die Möglichkeiten für ein Angebots- und Betriebskonzept (SMA und Partner AG) und zum anderen die Kosten der Elektrifizierung (Enotrac AG) sein.

Aktuell bearbeitet SMA und Partner AG ein Gutachten zur Weiterentwicklung des ITF Baden-Württemberg für den Zeithorizont 2020 mit dem Neubauprojekt Stuttgart – Ulm und weiteren geplanten Infrastrukturmaßnahmen (z.B. Ausbau Karlsruhe – Basel, Elektrifizierung Ulm – Friedrichshafen – Lindau). Innerhalb des Gutachtens wurde bereits ein großer Teil des ITF Baden-Württemberg bearbeitet.

Auf Schweizer Seite ist SMA und Partner AG bei den Planungen zur 4. Teilergänzung der S-Bahn Zürich mit Durchmesserlinie beteiligt und hat deshalb Kenntnisse von den vorgesehenen Angebotskonzepten zwischen Zürich und Schaffhausen. Zudem war SMA und Partner AG auch für den Kanton Schaffhausen bei der Entwicklung von ÖV-Ausbauvarianten und deren Bewertung tätig.

In einem zweiten Teil der Studie wird die logische Fortsetzung der Elektrifizierung auf der Bodensee-Gürtelbahn im Abschnitt Radolfzell – Friedrichshafen (Abbildung 2) untersucht. Hier sind ebenfalls die Kosten der Elektrifizierung zu ermitteln und es ist ein Angebotskonzept zu erstellen. Da die gleichzeitige Elektrifizierung der Hochrheinstrecke und der Bodensee-Gürtelbahn nicht realistisch ist, sind auch Angebotskonzepte für eine Vorstufe mit elektrifizierter Hochrheinstrecke und Dieselbetrieb auf der Bodensee-Gürtelbahn zu erstellen.

Abbildung 2 Bodensee-Gürtelbahn Singen – Radolfzell – Friedrichshafen

In die Beurteilung der Angebotskonzepte beider Strecken sind die mittel- bis langfristig erkennbaren tiefgreifenden Veränderungen des SPNV-Angebots der anschließenden Strecken mit einzubeziehen.

2. Randbedingungen und Annahmen

2.1 Infrastruktur

Neue Haltepunkte

Bezüglich der Infrastruktur auf der Hochrheinstrecke ist auf deutschem Gebiet grundsätzlich vom Status Quo und dem derzeit vorliegenden VzG (Verzeichnis der zulässigen Geschwindigkeiten) auszugehen.

Es sind jedoch zwei neue Haltepunkte vorgesehen:

- Bad Säckingen-Wallbach (km 298,9)
- Rheinfelden-Warmbach (km 283,4)

Derzeit ist noch nicht gesichert, dass beide Haltepunkte realisiert werden bzw. ob in Rheinfelden der Haltepunkt Warmbach durch einen Haltepunkt im Industriegebiet ersetzt wird. Es ist jedoch für eine mittel- bis langfristige Betrachtung notwendig, zwei neue Haltepunkte planerisch einzuarbeiten. Die genaue Lage der Haltepunkte ist sekundär, wichtig ist die Anzahl der Halte.

Auf Schweizer Gebiet ist der neue Haltepunkt Beringerfeld (km 359,2) im Agglomerationsprogramm des Kantons Schaffhausen enthalten sowie im Prüfbericht des Bundes positiv bewertet worden und wird im Gutachten unterstellt. Der Realisierungshorizont liegt zwischen 2011 und 2014.

Ausbau

Im selben Zeithorizont ist ein zweigleisiger Ausbau Erzingen – Beringen inkl. Elektrifizierung Erzingen – Schaffhausen vorgesehen. Im Zuge der damit zusammenhängenden Automatisierung werden die Bahnhöfe mit schienenfreien Bahnsteigzugängen versehen und behindertengerecht ausgebaut. Zudem ist die Aufhebung von Bahnübergängen geplant. Da noch kein neues VzG bekannt ist, wird für die Fahrzeitberechnung das aktuelle Geschwindigkeitsband unterstellt. Somit liegen die Fahrzeiten auf der sicheren Seite.

Auf der Bodensee-Gürtelbahn ist bei der Infrastruktur (Strecke und Haltepunkte bzw. Bahnhöfe) vom Status Quo auszugehen. Unterstellt ist jedoch die Herstellung von schienenfrei zugänglichen Bahnsteigen in Markdorf.

2.2 Angebots- und Linienkonzept

Bezüglich des Angebotskonzepts auf der Hochrheinstrecke und der Bodensee-Gürtelbahn ist folgendes Mengengerüst zu unterstellen:

- Stündliches, schnelles IRE-Angebot Basel – Schaffhausen – Singen ohne Veränderung der Haltepolitik und möglichst gute Anbindung in den Knoten Basel Bad Bf, Waldshut, Schaffhausen sowie Singen
- halbstündliches unterlegtes RB-Angebot Basel – Waldshut mit den zwei zusätzlichen Halten und möglichst gute Anbindung in die Knoten Basel Bad Bf sowie Waldshut
- stündliche Durchbindung einer RB Basel – Waldshut nach Erzingen bzw. eventuell nach Schaffhausen mit Halt an allen Stationen (Mehrung im Vergleich zum Status quo durch Verlängerung der RB von Lauchringen bis Erzingen)
- halbstündliche RB Erzingen – Schaffhausen (Verdichtung zum Viertelstundentakt in der HVZ)
- Angebotskonzept Schaffhausen – Singen gemäß Planungen des Kantons Schaffhausen mit halbstündlicher RB Schaffhausen – Thayngen sowie halbstündlicher S-Bahn (Jestetten –) Schaffhausen – Singen und stündlichem Fernverkehrszug Zürich – Singen
- zweistündliches schnelles IRE-Angebot zwischen Singen und Friedrichshafen/Lindau mit Anbindung in Friedrichshafen an die „elektrifizierte“ Südbahn als Verlängerung der IRE Züge von Basel
- zwei zweistündliche RB-Angebote Friedrichshafen – Radolfzell mit Verlängerung gegenüber dem Status quo nach Singen, die sich nach Möglichkeit zum Stundentakt ergänzen
- als optionale Angebotsausweitung: 30’-Takt IRE zwischen Basel und Schaffhausen bzw. Singen mit Rücknahme der RB von Erzingen auf Waldshut

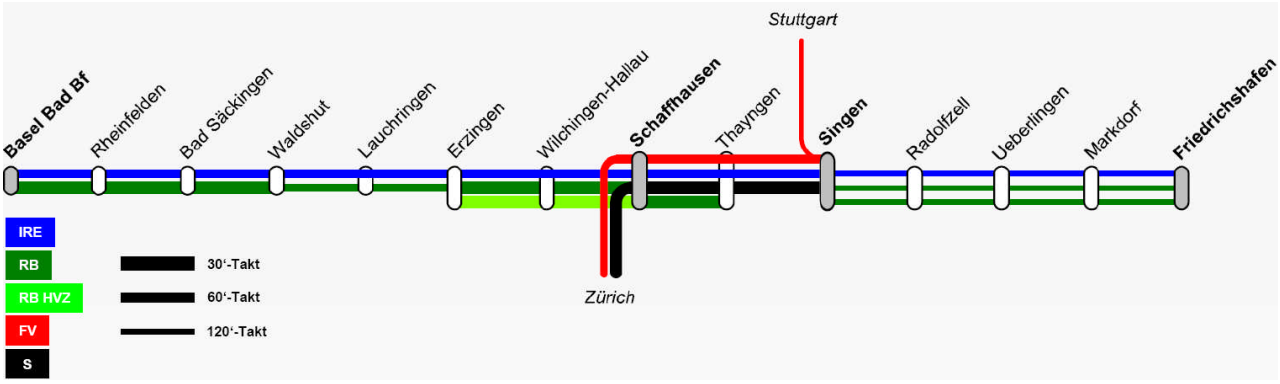


Abbildung 3 Linienkonzept Basel Bad Bf – Singen – Friedrichshafen

Das in Abbildung 3 dargestellte Linienkonzept zeigt wegen der Übersichtlichkeit nur eine Auswahl an Linien, die nicht direkt zu den betrachteten Strecken gehören.

2.3 Angebotskonzept außerhalb Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn

Im übergeordneten Netz sind ausgelöst durch die Inbetriebnahme von Neubaustrecken oder -abschnitten einige tiefgreifende Veränderungen des SPNV-Angebots zu erwarten und in die Bewertung mit einzubeziehen:

- Knoten Basel Bad Bf mit 30'-Takt im Fernverkehr durch den Ausbau der Rheintalbahn
- Knoten Schaffhausen exklusive Hochrheinstrecke gemäß Planungen des Kantons Schaffhausen
- Knoten Singen, Schaffhausen und Radolfzell nach Ausbau der Gäubahn Stuttgart – Singen – Zürich sowie einer Anpassung der Schwarzwaldbahn im Rahmen der Überarbeitung des ITF Baden-Württemberg
- Knoten Friedrichshafen nach Ausbau und Elektrifizierung der Südbahn Ulm – Friedrichshafen – Lindau

Die Züge der SBB im Knoten Waldshut bleiben unverändert, jedoch sind diese Anschlüsse ebenfalls zu betrachten.

3. Analyse Nachfragezahlen

3.1 Analyse IRE Basel – Schaffhausen – Singen (– Friedrichshafen)

Auf der Grundlage von RES-Zahlen (Reisenden-Erfassungssystem) der DB aus dem Fahrplanjahr 2008 sind Auswertungen über die abschnittsweise Besetzung der einzelnen IRE-Züge in Richtung / Gegenrichtung dargestellt:

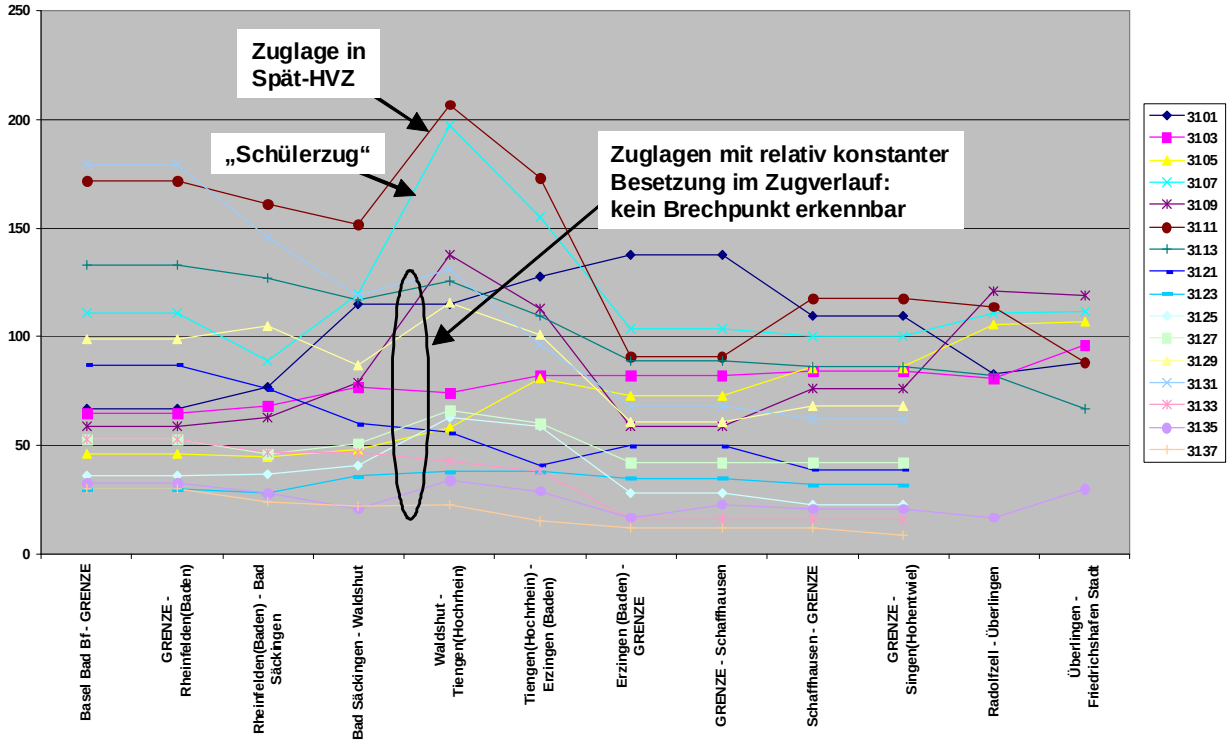


Abbildung 4 Absolute Besetzung in Anzahl Fahrgästen für alle IRE-Lagen aus Richtung Basel

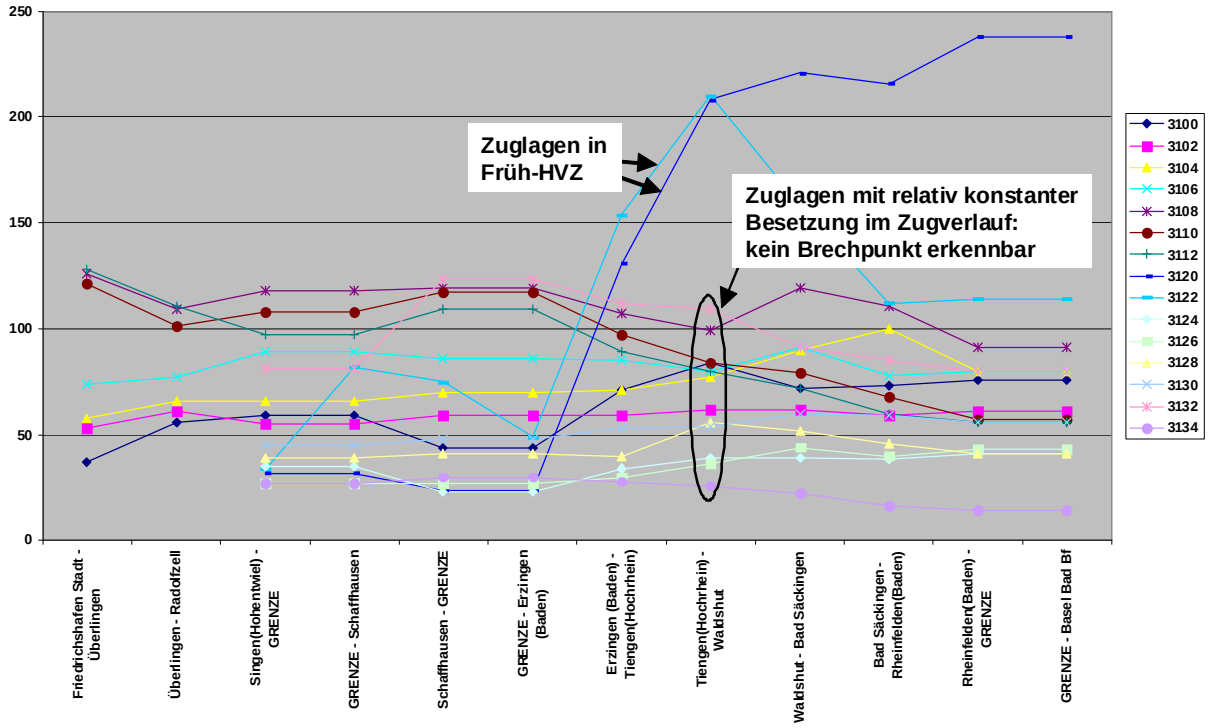
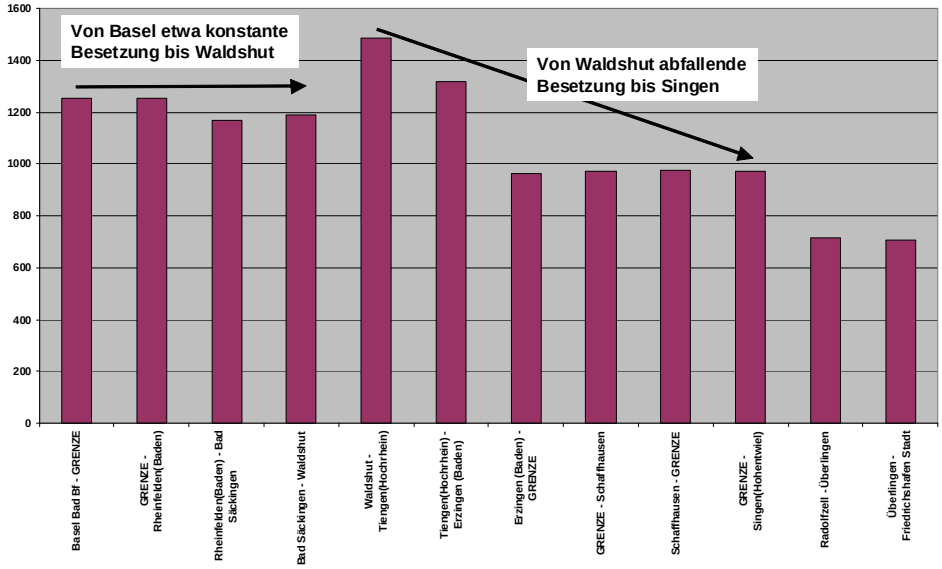


Abbildung 5 Absolute Besetzung in Anzahl Fahrgästen für alle IRE-Lagen in Richtung Basel

Dabei zeigt sich, dass ein Großteil der Zuglagen eine relativ konstante Besetzung bis ca. 120 Fahrgäste aufweist. Einzelne Züge zur HVZ bzw. zu Schulschlusszeiten sind anhand einer abweichenden Charakteristik deutlich identifizierbar.

In der folgenden Abbildung sind die Summen der Besetzung aller Zuglagen pro Querschnitt in Richtung und Gegenrichtung ersichtlich:



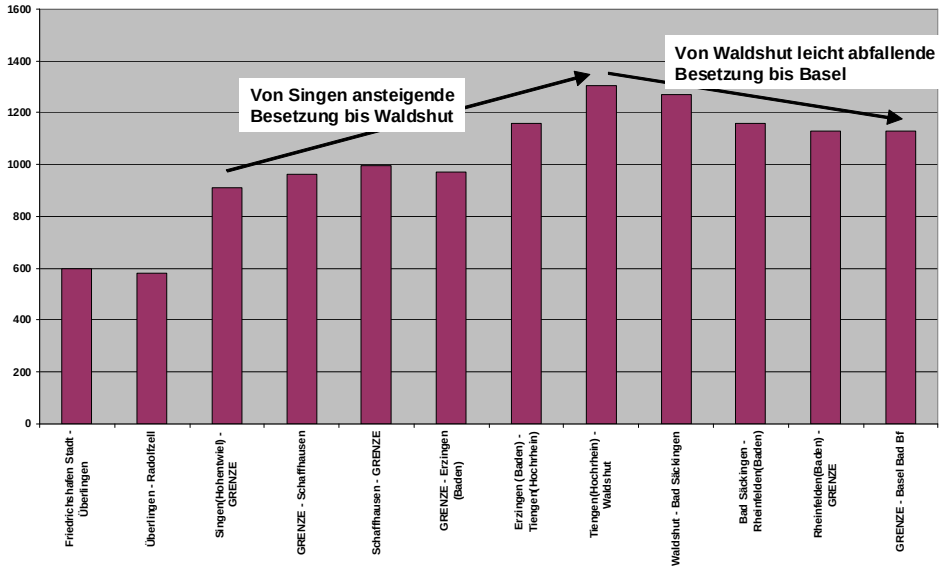
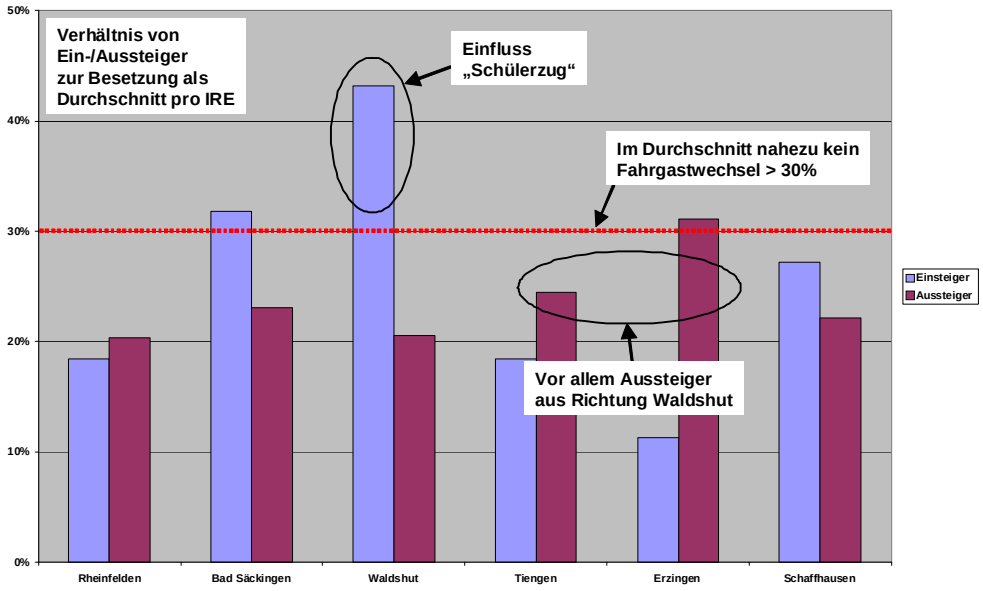


Abbildung 6 Querschnittsbelastung aller IRE aus Richtung Basel (oben) / in Richtung Basel (unten)

Es zeigt sich eine relativ konstante bzw. leicht steigende Nachfrage von Basel bis Waldshut, während die Anzahl Fahrgäste in Richtung Schaffhausen und Singen leicht abnimmt. Analoges gilt für die Gegenrichtung.

Um mögliche Brechpunkte des IRE mit minimaler Anzahl durchfahrender Fahrgäste zu identifizieren, ist in der folgenden Abbildung das Verhältnis von Ein-/Aussteiger zur Besetzung in Richtung und Gegenrichtung dargestellt:



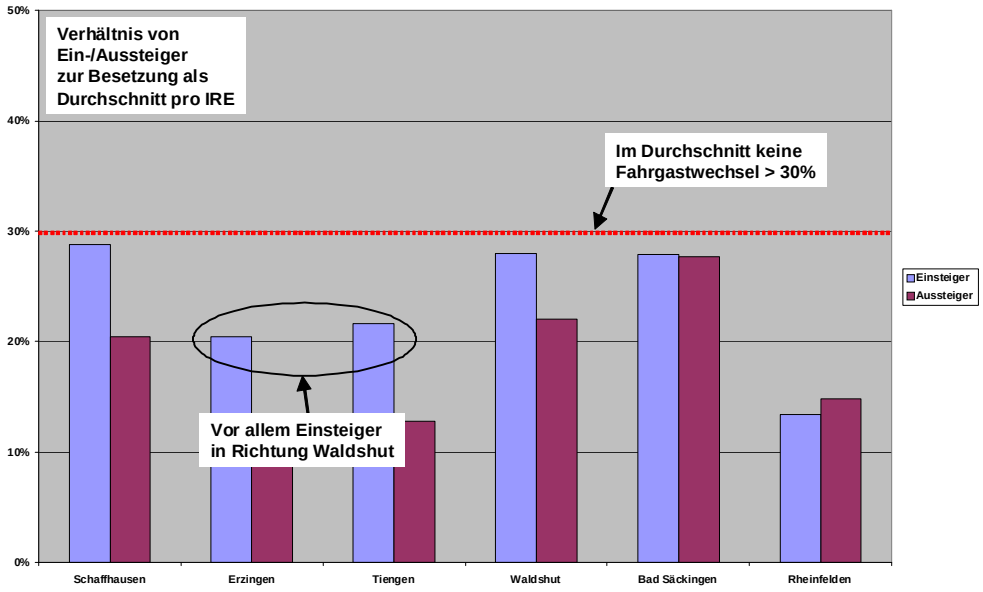


Abbildung 7 Verhältnis Ein-/Aussteiger aller IRE aus Richtung Basel (oben) / in Richtung Basel (unten)

Die Abbildung verdeutlicht, dass im Durchschnitt grundsätzlich kein Fahrgastwechsel über 30% an den einzelnen Haltepunkten zu beobachten ist. Damit drängt sich – falls die Fahrplankonstruktion dies ermöglicht oder bedingt – kein Brechpunkt des IRE Basel – Schaffhausen – Singen auf.

Die vorhandenen RES-Zahlen ermöglichen es, eine grobe Analyse der Nachfragesituation vorzunehmen und die Charakteristik einer Linie zu erkennen. Um die RES-Zahlen zu verifizieren, sind bei Fragestellungen, welche einen höheren Detaillierungsgrad verlangen, jedoch evtl. zusätzliche Zählungen vorzunehmen.

3.2 Dimensionierung Gefäßgröße

Die RES-Zahlen dienen auch zur Dimensionierung der Gefäßgröße der einzelnen Zuglagen bzw. zur Ermittlung der Anzahl Fahrzeuge für die einzelnen Umläufe (siehe auch Kapitel 7).

Dabei ermöglicht ein Abgleich der abschnittsweisen Besetzung der einzelnen Züge mit der vorgegebenen Kapazität eines Referenzfahrzeugs die Identifizierung von Zuglagen, welche eine Doppeltraktion verlangen.

Um den Effekt der Nachfragesteigerung bei einem neuen attraktiven Fahrplankonzept abzubilden, sind die vorliegenden RES-Zahlen mit einer Fahrgastzunahme von 30% zu versehen.

Wird die vorhandene Kapazität nur auf einem kurzen Abschnitt leicht überschritten, so ist zu Gunsten einer wirtschaftlichen Dimensionierung der Flottengröße keine Doppeltraktion vorzusehen. Somit wird eine geringe Anzahl Stehplätze auf kurzen Streckenabschnitten akzeptiert.

4. Fahrzeitrechnungen / Haltezeiten

4.1 Referenzfahrzeug und Fahrzeiten

Auf der Hochrheinstrecke kommen heute einteilige VT 641 in Einfach- bis Dreifachtraktion für die RB-Zuglagen sowie NeiTech-Triebzüge des Typs VT 611 in Einfach- bzw. Doppeltraktion zum Einsatz (siehe Abbildung 8). Auf der Bodensee-Gürtelbahn sind die RB primär mit Triebwagen des Typs VT 650 Regio-Shuttle bespannt.

Abbildung 8 VT 641 und VT 611 in Basel Bad Bf

Für die Fahrzeitrechnungen beider Strecken bei einer Elektrifizierung ist sowohl für die IRE- als auch für die RB-Zuglagen das Referenzfahrzeug RABe 521 FLIRT in Doppeltraktion unterstellt (siehe Abbildung 9). Für die RB Schaffhausen – Erzingen sind die Fahrzeiten mit RABe 526 (GTW 2/6) und mit RABe 521 (FLIRT) berechnet.

Letztendlich muss das nach erfolgter Elektrifizierung zum Einsatz kommende Fahrzeug kein FLIRT sein, jedoch sind vergleichbare fahrdynamische Eigenschaften erforderlich. Auch die Einstiegsverhältnisse und somit die notwendigen

Haltezeiten dürfen sich gegenüber dem FLIRT nicht verschlechtern. Ansonsten sind die erarbeiteten Fahrpläne unter Umständen nicht umsetzbar.

Die Fahrzeitrechnungen berücksichtigen die sogenannte „30-Sekunden-Regel“, wonach nach der Beschleunigungsphase die maximale Geschwindigkeit für 30 Sekunden zu halten ist, bevor die Bremsphase eingeleitet wird.

Die übrigen Knoten- bzw. Kantenzeiten in den Bereichen Basel, Singen – Radolfzell sowie Friedrichshafen sind nicht berechnet, sondern aus vorhandenen Konzepten übernommen.

Abbildung 9 Referenzfahrzeug RABe 521 in Basel Bad Bf

4.2 Regel-/Bauzuschlag

Die berechneten technischen Fahrzeiten sind mit 3% Regelzuschlag gemäß Richtlinie von DB Netz zu versehen.

Gemäß der Karte „Bauzuschläge SPNV 2009“ von DB Netz ist für den Abschnitt Schaffhausen – Singen ein Bauzuschlag von 0,7 Minuten einzuplanen.

Für die Abschnitte Basel – Schaffhausen und Singen – Friedrichshafen waren keine Vorgaben von DB Netz zu erhalten. Hier wird der Bauzuschlag je nach geplanten Baumaßnahmen im Jahresfahrplan festgelegt, weshalb für die Studie eine Annahme für einen durchschnittlichen Bauzuschlag zu treffen ist.

Zur Ermittlung eines Bauzuschlag-Wertes erfolgten Fahrzeitrechnungen mit 3% und 7% Zuschlag. Die Differenz dieser Berechnungen – z.B. 1,9 Minuten beim IRE zwischen Basel und Schaffhausen – sind bei der Fahrplankonstruktion als punktförmige Bauzuschläge vorzusehen.

Die ermittelten Werte entsprechen in etwa den von DB Netz vorgesehenen Bauzuschlägen auf Strecken vergleichbarer Länge.

4.3 Haltezeiten

Das niederflurige Referenzfahrzeug ermöglicht – im Gegensatz zum hochflurigen VT 611 – eine Beschleunigung der Fahrgastwechselzeiten gegenüber dem Status Quo. Für die Studie sind folgende Haltezeiten unterstellt:

- RB
  - Bad Säckingen / Rheinfelden / Waldshut 0,7 Minuten
  - Übrige Halte 0,5 Minuten
- IRE
  - Tiengen / Erzingen / Radolfzell / Überlingen 0,7 Minuten
  - Übrige Halte 1,0 Minuten

4.4 Ergebnisse

Im Anhang 1 sind Diagramme der Fahrzeitrechnungen für die IRE-Fahrlagen mit VT 611 (als Vergleich) und dem Referenzfahrzeug FLIRT sowie für die RB-Fahrlagen mit FLIRT aufgeführt. Die blauen Linien zeigen jeweils die zulässigen Geschwindigkeiten, während die roten Linien die umgesetzten Geschwindigkeiten mit Beschleunigungs- und Bremsphasen darstellen. Berücksichtigt sind bei der Bestimmung der Fahrzeiten nur die Zeitverluste für Beschleunigen und Bremsen; nicht aber die Haltezeiten.

Der Vergleich der Fahrschaudiagramme von VT 611 und FLIRT zeigt die unterschiedlichen – infrastrukturbedingten – Geschwindigkeitsprofile von konventionellen und NeiTech-Fahrzeugen. Auch ersichtlich ist das bessere Beschleunigungsvermögen der Elektro- gegenüber den Dieseltriebzügen. Die Überlage-

rung dieser beiden Effekte führt zu einer Fahrzeitverlängerung bei einem Einsatz von FLIRT gegenüber VT 611 von 1,8 Minuten auf dem Abschnitt Basel – Singen bzw. 2,4 Minuten in der Gegenrichtung. Zwischen Friedrichshafen und Singen beträgt der Unterschied sogar 5,3 Minuten (+ 13%) bzw. 4,5 Minuten (+11%) in der Gegenrichtung. Nicht berücksichtigt ist hier die im vorhergehenden Kapitel erwähnte mögliche Reduktion der Haltezeiten.

Generell ist mit Aufgabe der Neigetechnik das VzG zwischen Basel Bad Bf und Friedrichshafen bzw. Lindau zu überprüfen. Das neue schnelle Produkt (IRE mit E-Traktion) verkehrt nicht mehr bogenschnell sondern konventionell, d.h. mit dem VzG der bisherigen RB. Diese haben eine Maximalgeschwindigkeit von zum Teil deutlich unter 160 km/h. Höhere Geschwindigkeiten als im aktuellen konventionellen VzG können von diesen aufgrund der Haltestellenabstände oder möglichen Höchstgeschwindigkeit z.T. sowieso nicht genutzt werden. Mit nun deutlich leistungsfähigeren konventionellen Fahrzeugen (E-Traktion, höhere Maximalgeschwindigkeit) scheint vor allem auf der Bodensee-Gürtelbahn aufgrund des hohen Geschwindigkeitsunterschiedes (über weite Abschnitte 30 km/h) Potential für eine Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeiten vorhanden zu sein. So lässt sich u. U. die Fahrzeit reduzieren oder zumindest bei gleicher Reisezeit der Fahrplan mit mehr Reserven versehen und somit stabiler machen.

5. Angebotskonzepte

5.1 Grundlegende Betrachtung

Maßgebendes und strukturierendes Element der Hochrheinstrecke ist die schnelle überregionale IRE-Linie Basel – Schaffhausen – Singen – Friedrichshafen – Lindau, welche die Fernverkehrs-Knoten Basel, Schaffhausen und Singen sowie den Knoten Friedrichshafen verbindet.

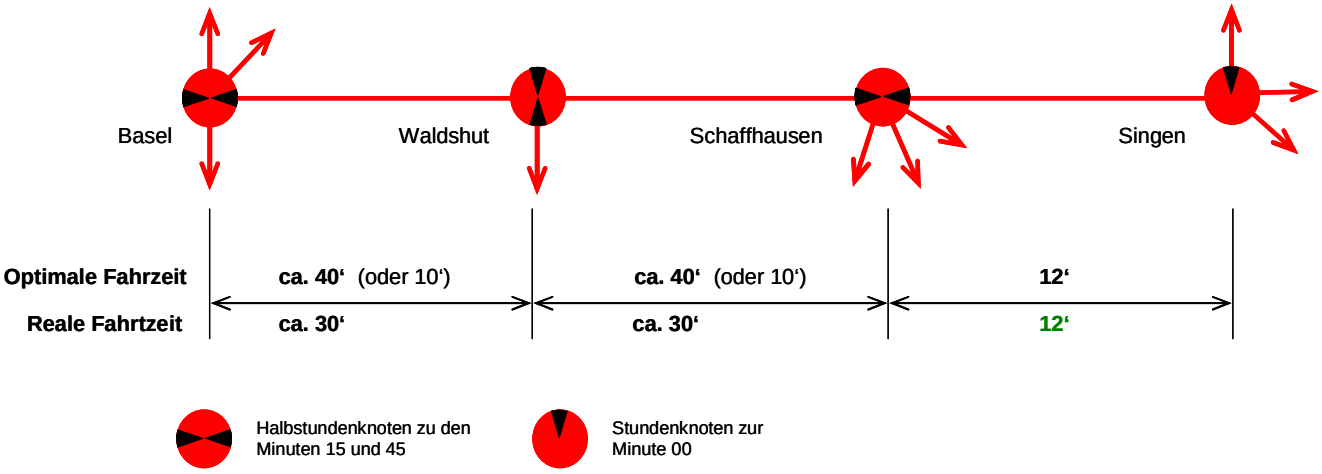


Abbildung 10 Verhältnis zwischen Knoten und Fahrzeiten zwischen Basel und Singen

Die für den IRE relevanten Anschlussbahnhöfe sind weitgehend als Knoten ausgebildet (siehe auch Abbildung 11):

- Basel Bad Bf im Fernverkehr und für die S-Bahn ein Knoten zu den Minuten 15 und 45
- Waldshut bezüglich der Schweizer Züge ein Knoten zur vollen und halben Stunde
- Schaffhausen bezüglich FV und einiger anderer Züge ein Knoten zu den Minuten 15 und 45
- Singen ein Knoten zur vollen Stunde

Aufgrund der Kantenzeiten kann der IRE nicht für alle Knoten eine optimale Lage haben:

- Fahrzeit Basel Bad Bf – Singen etwa 72 Minuten, optimal jedoch etwa 60 Minuten (theoretisch Fahrzeit nur geringfügig zu lang, jedoch wegen langen Übergangszeiten in Basel und belegter optimaler Trasse Schaffhausen – Singen kürzere Fahrzeit erforderlich)

- Fahrzeit Basel Bad Bf – Waldshut: etwas mehr als 30 Minuten, optimal jedoch 10 Minuten oder 40 Minuten
- Fahrzeit Waldshut – Schaffhausen knapp 30 Minuten, optimal jedoch 10 Minuten oder 40 Minuten
- Fahrzeit Schaffhausen – Singen etwa 12 Minuten, optimale Fahrzeit, jedoch optimale Trasse von höherwertigem Zug (Zürich – Singen – Stuttgart) belegt.

Die IRE-Lage des Bezugsfalls stellt zwischen Singen und Friedrichshafen aufgrund der Anschlüsse in Friedrichshafen und der so möglichen Weiterführung in Richtung Lindau in etwa die anzustrebende Lage des IRE im Zielzustand mit Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn dar. Die Ankunft in Friedrichshafen liegt etwa zwischen den Minuten 25 und 35. Für die neue Situation in Lindau mit Elektrifizierung und Bahnhof Lindau-Reutin ist eine parallele Einfahrt aus Richtung Lindau-Aeschach möglich und in den verschiedenen Konzepten auch unterstellt.

Dem IRE-System wird das RB-System unterlegt. Je nach Variante bestehen dann im Vergleich zum IRE andere Anschlüsse in Basel oder Waldshut. Auf der Bodensee-Gürtelbahn ist die RB möglichst so zu legen, dass die Anschlüsse im Nullknoten Singen hergestellt werden.

Es zeichnet sich ab, dass die Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn nicht zeitgleich mit der Elektrifizierung der Hochrheinstrecke erfolgen wird, sondern erst nach 2020 zur Realisierung kommt. Für einen längeren Zwischenzustand ist deshalb eine Vorstufe dieses Zielkonzepts mit elektrifizierter Hochrheinstrecke und Südbahn sowie dieselbetriebener Bodensee-Gürtelbahn in Betrieb. Aus diesem Grund wird eine solche Vorstufe in Kapitel 6.4 vertieft betrachtet. In die Bildfahrpläne und Netzgrafiken fließt die Bodensee-Gürtelbahn zunächst ohne Elektrifizierung ein. Als Bindeglied zwischen Hochrheinstrecke und Südbahn ist für sie jedoch jeweils ein Angebotskonzept mit Umstieg statt Durchbindung in Singen entwickelt und hinterlegt. Im Sinne der Aufwärtskompatibilität ist im Zielkonzept eine zweistündliche Weiterführung des IRE von der Hochrheinstrecke auf die elektrische Bodensee-Gürtelbahn analog des heutigen Linienkonzepts sicherzustellen. Hierbei ist zu beachten, dass die Bodensee-Gürtelbahn eine eingleisige Strecke mit wenigen Kreuzungsmöglichkeiten ist und auf dem Abschnitt Singen – Radolfzell zusätzlich die Zuglagen von Seehas und Schwarzwaldbahn zu berücksichtigen sind.

Im Folgenden sind Angebotskonzepte mit einer Optimierung der Knoten Singen (Variante 1), Basel (Variante 2) sowie Waldshut (Variante 3) aufgeführt und anhand eines groben Kriterienkatalogs gegenübergestellt.

5.2 Bezugsfall

Referenz für die zu erarbeitenden Fahrplankonzepte ist das Angebotskonzept aus den Planungen des ITF Baden-Württemberg 2020. Hierin ist keine Elektrifizierung zwischen Basel und Friedrichshafen unterstellt. Der Bezugsfall berücksichtigt die geänderten Knotenzeiten des Fernverkehrs in Basel und Singen mit vollständigem Ausbau der Rheintalbahn sowie Ausbau der Gäubahn. Die neuen Zeiten des Fernverkehrs in Basel und Singen sowie die Reisezeit des IRE von ca. 70 Minuten ermöglichen keine gleichzeitige Optimierung der Übergangszeiten beider Knoten. Dies führt zu einer gegenüber dem Status Quo etwa um 45 Minuten geschobenen IRE-Lage mit entspannten Übergangszeiten zum Fernverkehr in Basel und Singen sowie einem Knoten zur Minute 00 in Waldshut.

Die Planungen des ITF Baden-Württemberg 2020 sind für den Abschnitt Erzingen – Schaffhausen – Singen ergänzt um die Planungen für das Angebotskonzept des Kantons Schaffhausen für den Zeithorizont 2016. Der Anschluss in Schaffhausen in Richtung Zürich von der RB ist gewährleistet, der Busknoten Wilchingen-Hallau (siehe 5.4) kann jedoch nicht hergestellt werden.

Mit der IRE-Lage Basel – Singen – Friedrichshafen bestehen im Knoten Friedrichshafen mit 10 bis 15 Minuten relativ gute Anschlüsse sowohl auf die Südbahn als auch nach Lindau. Alternativ kann auch der IRE der Bodensee-Gürtelbahn in der Trasse des IRE-Sprinters von der Südbahn bis nach Friedrichshafen geführt werden. Unbefriedigend sind jedoch die Anschlüsse des IRE von der Bodensee-Gürtelbahn auf den ICE-T nach Stuttgart in Singen. Diese Funktion übernimmt jedoch die RB Friedrichshafen – Radolfzell – Singen.

Netzgrafik und Bildfahrpläne des Bezugsfalls sind im Anhang 2 ersichtlich.

5.3 RB Erzingen – Schaffhausen

Zwischen den in der HVZ viertelstündlich verkehrenden RB Schaffhausen – Erzingen und den IRE-Lagen auf dem betreffenden Abschnitt besteht eine starke Abhängigkeit. Die Fahrzeit der RB zwischen Erzingen und Schaffhausen beträgt etwa 22 Minuten, während diejenige des IRE etwa 13 Minuten lang ist. Der Fahrzeitunterschied von 9 Minuten sowie die minimalen Zugfolgen in Erzingen von 3 Minuten und in Schaffhausen von 2 Minuten passen beinahe minutengenau in das Trassenfenster zweier RB-Lagen von 15 Minuten (siehe Abbildung 11). Dies bedeutet, dass bei vorgegebenen RB-Lagen nur vier mögliche Lagen des IRE pro Stunde realisierbar sind (orange Linien in der Abbildung) oder dass bei gegebener IRE-Lage die viertelstündlichen RB-Lagen entsprechend zu schieben sind. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass eine Haupt-

funktion der RB ein Anschluss an den Fernverkehr nach Zürich in Schaffhausen darstellt.

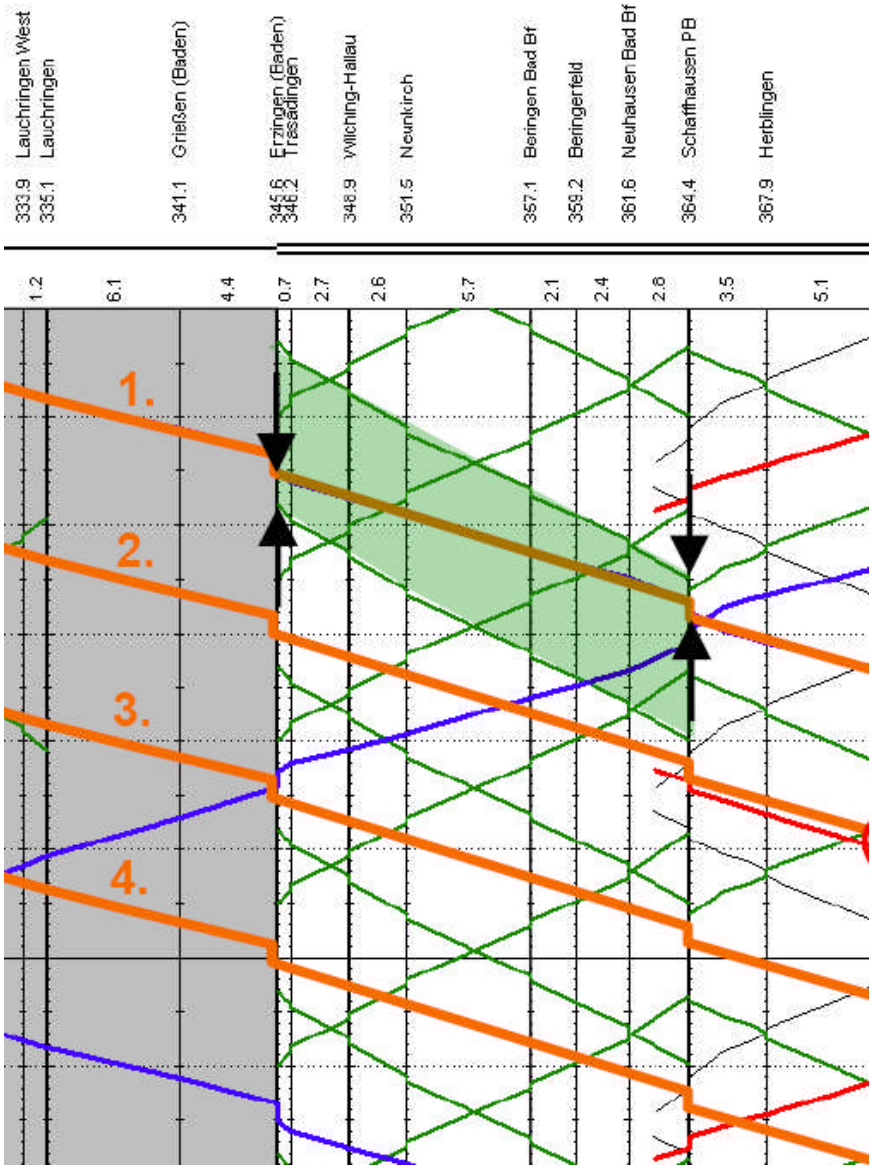


Abbildung 11 Abhängigkeit zwischen RB, IRE und den Zugfolgezeiten zwischen Erzingen und Schaffhausen

5.4 Busknoten Wilchingen-Hallau

Der Kanton Schaffhausen plant im Klettgau einen Busknoten Wilchingen-Hallau. Für einen wirtschaftlichen Einsatz der Busse muss eine Differenz von 21 Minu-

ten bis 33 Minuten zwischen Ankunft und Abfahrt der Grundtakt-RB von / nach Schaffhausen in Wilchingen-Hallau liegen. Für die Zwischentakt-RB gelten die gleichen Werte. Mit Übergangszeiten von 1 Minute zum Bus und 3 Minuten zur RB, Fahrzeiten der Busse von jeweils 8 Minuten in Hin- und Rückrichtung sowie einer Wendezeit der Busse von mindestens 1 Minute in Oberhallau und Osterfingen ist damit ein umlaufoptimiertes Buskonzept umsetzbar:

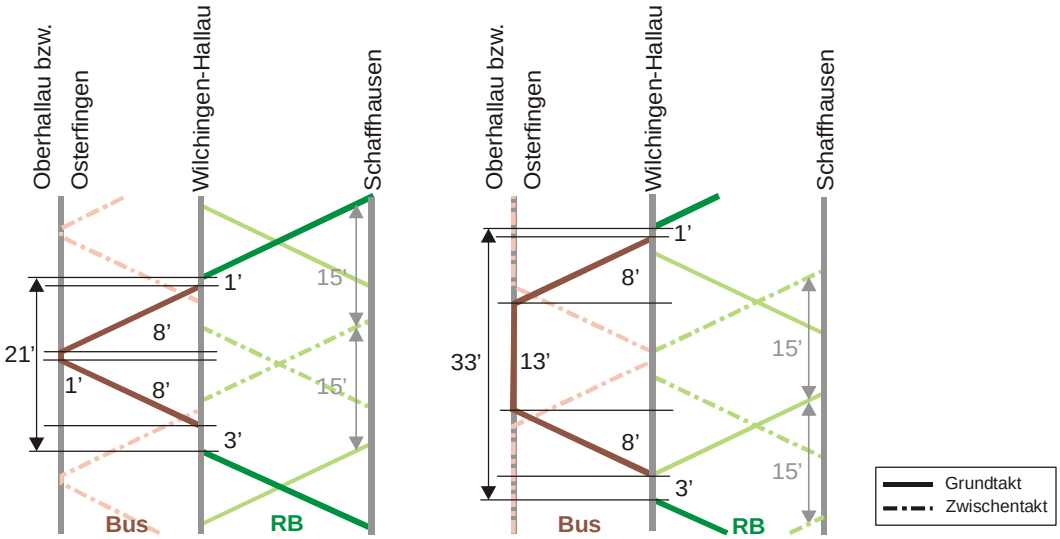


Abbildung 12 Busknoten Wilchingen-Hallau

Die linke Grafik zeigt die Situation mit minimaler Wendezeit in Oberhallau bzw. Osterfingen, die rechte Grafik die maximal mögliche Wendezeit in Oberhallau bzw. Osterfingen für einen Busumlauf mit 30 Minuten. Mit hergestelltem Anschluss der RB in Schaffhausen von / nach Zürich tritt eher eine Situation gemäß linker Grafik auf, die rechte Grafik ist somit theoretischer Natur und für die untersuchten Varianten weniger relevant.

5.5 Variante 1

Bei der Variante 1 liegen die IRE etwa in den Zeitlagen der heutigen IRE-Züge. Damit ist eine Optimierung der Anschlüsse in Singen vom IRE aus Basel auf die jeweils zweistündlichen ICE-T und RE nach Stuttgart mit dem neuen Gäubahnkonzept realisierbar. Auch die Übergangszeiten vom IRE auf den Fernverkehr in Richtung Zürich in Schaffhausen sind mit 6 bis 8 Minuten optimal. Da sich jedoch die Zeiten des Fernverkehrs aus Norden in Basel ändern, besteht hier gegenüber dem Status Quo eine deutlich längere Übergangszeit zum IRE. Um diesen Nachteil zu verringern, sind die Lagen der RB auf den Fernverkehr in Basel ausgerichtet. Mit diesen RB-Lagen wird jedoch der Anschluss auf den

Nahverkehr in Richtung Koblenz in Waldshut knapp verpasst. In der Gegenrichtung wird der Anschluss aufgrund der nicht nullsymmetrischen Lage der Züge von / nach Koblenz jedoch hergestellt. Zudem muss die nach Lauchringen und Erzingen weiterführende RB in Waldshut den IRE der Gegenrichtung abwarten und erhält somit eine Standzeit von ca. 13 Minuten.

Mit der Lage der RB aus Waldshut ist in Erzingen eine Durchbindung auf die RB nach Schaffhausen mit 5 Minuten Standzeit möglich. Das RB-System Erzingen – Schaffhausen ist um ca. 5 Minuten gegenüber den Planungen des Kantons Schaffhausen verschoben. Somit ist der Aufbau eines Busknotens im Klettgau nach wie vor möglich. Die Lage der RB ermöglicht jedoch keinen Anschluss auf den Fernverkehr nach Zürich in Schaffhausen. Somit kann eines der Hauptziele der RB nicht umgesetzt werden.

Der IRE Singen – Friedrichshafen ist so konzipiert, dass schlanke Übergänge mit dem IRE Basel – Singen entstehen. So besteht auch Anschluss von der Schwarzwaldbahn auf den IRE der Bodensee-Gürtelbahn. In Friedrichshafen bietet der IRE einen sehr knappen Anschluss auf den IRE der Südbahn. In Richtung Lindau funktioniert der Übergang nur auf die RB.

Auch mit einer elektrifizierten Bodensee-Gürtelbahn ist zwar eine Durchbindung der IRE in Singen in ähnlicher Lage möglich, jedoch können die Anschlüsse in Friedrichshafen nicht optimiert werden.

Netzgrafik und Bildfahrpläne der Variante 1 sind im Anhang 3 ersichtlich.

5.6 Variante 2

Bei der Variante 2 sind die IRE auf die neuen Fernverkehrszeiten in Basel optimiert. Mit den entsprechenden IRE-Lagen entsteht eine Eigenkreuzung in Lauchringen. Soll der betriebliche Kreuzungshalt als Verkehrshalt realisiert werden, so sind in Lauchringen schienenfrei zugängliche Bahnsteige wünschenswert. Ansonsten müssen die IRE verlangsamt werden.

Die IRE-Lagen lösen auf dem Abschnitt Thayngen – Singen einen Zugfolgekonflikt mit der S-Bahn aus Jestetten aus. Deshalb ist die S-Bahn auf Thayngen zurückzukürzen und als Ersatz die RB Schaffhausen – Thayngen nach Singen zu verlängern. Die Züge Jestetten – Schaffhausen sind wegen der vorhandenen Eingleisigkeiten und hohen Belastung des Abschnitts fixiert. Somit sind keine durchgehenden Verbindungen Jestetten – Schaffhausen – Singen mehr möglich. Trotz des Abtauschs sind beim IRE verlängerte Standzeiten in Schaffhausen notwendig, um ein Auflaufen des IRE auf die RB vor Singen zu verhindern.

Die Standzeit in Schaffhausen kann für einen Halt zwischen Erzingen und Schaffhausen verwendet werden. Ebenfalls möglich ist gegebenenfalls die Verwendung der zusätzlichen Haltezeit zur Herstellung des Verkehrshalts in Lauchringen ohne schienenfrei zugängliche Bahnsteige. Die Folge wäre eine leichte Anpassung des RB-Systems Erzingen – Schaffhausen.

Die Anschlüsse des IRE auf den Nahverkehr in die Schweiz in Waldshut sowie auf den Fernverkehr in Schaffhausen und Singen sind bei dieser Variante mit Übergangszeiten von größtenteils über 20 Minuten nicht optimal.

Die Lage der RB aus Waldshut ermöglicht in Erzingen eine Durchbindung auf die RB nach Schaffhausen nur mit einer unattraktiven Standzeit von 11 Minuten. Die RBs Erzingen – Schaffhausen sind gegenüber den Planungen des Kantons Schaffhausen verändert, ermöglichen jedoch trotzdem einen betrieblich optimierten Busknoten Wilchingen-Hallau. Die Anschlüsse der RB aus Erzingen auf den Fernverkehr nach Zürich in Schaffhausen werden jedoch knapp verpasst.

Das Angebotskonzept auf der Bodensee-Gürtelbahn entspricht grundsätzlich dem Bezugsfall. Da der IRE der Hochrheinstrecke um etwa 5 Minuten gegenüber dem Bezugsfall verschoben ist, kann ein Umstieg zwischen den IRE realisiert werden. Mit elektrifizierter Bodensee-Gürtelbahn lässt sich die Lage des IRE in etwa beibehalten.

Netzgrafik und Bildfahrpläne der Variante 2 sind im Anhang 4 ersichtlich.

5.7 Variante 3

Mit der Variante 3 wird die Idee des Bezugsfalls aufgegriffen, entspannte Übergangszeiten auf den Fernverkehr sowohl in Basel als auch in Singen herzustellen. Die Zeiten des IRE in Singen ermöglichen optimale Umsteigebeziehungen auf den Seehas nach Konstanz und nach Engen. Mit den IRE-Lagen entsteht zudem ein Knoten zur Minute 00 in Waldshut mit kurzen Anschlüssen sowohl vom IRE als auch von der RB auf den Nahverkehr in die Schweiz.

Die Verteilung der IRE- und RB-Lagen zwischen Waldshut und Erzingen ist etwa halbstündlich. Dabei lässt sich die RB in Erzingen mit kurzer Standzeit auf die RB nach Schaffhausen durchbinden. Die RB sind gegenüber den Planungen des Kantons Schaffhausen um wenige Minuten geschoben und erschweren damit den Aufbau eines Busknotens im Klettgau. Die Übergänge der RB auf die Fernverkehrslagen in die Schweiz in Schaffhausen sind jedoch gewährleistet.

Im ersten Schritt ist das Angebotskonzept der Variante 2 auf der Bodensee-Gürtelbahn unterstellt. Dabei lässt sich jedoch zunächst der Umstieg zwischen den IRE in Singen nicht herstellen. Erst mit Elektrifizierung der Gürtelbahn ist dies möglich, da dann durchgehend das gleiche Fahrzeug benutzt werden kann.

Weiterführende Überlegungen zur Variante 3 erfolgen im Kapitel 6.

Netzgrafik und Bildfahrpläne der Variante 3 sind im Anhang 5 ersichtlich.

5.8 Variantenvergleich

Im Anhang 6 ist ein grober Kriterienkatalog zum Variantenvergleich aufgeführt. Dieser beinhaltet die Aspekte

- Reisezeiten,
- Verteilung Taktzüge,
- betriebliche Aspekte sowie
- Anschlussverhältnisse.

Die Bewertung erfolgt mit den Abstufungen

- „positiv“ in grüner Farbe,
- „negativ“ in roter Farbe sowie
- „neutral“ in grauer Farbe.

Bei den Anschlussverhältnissen sind die Farben entsprechenden Minutenintervallen zugeordnet. Es erfolgt keine Gewichtung der bewerteten Kriterien.

Die Vergleichstabelle ermöglicht keine absolute Bewertung der Varianten. Mithilfe der farblichen Hervorhebung von Vor- und Nachteilen ist lediglich ein Hilfsmittel für die Auswahl einer Vorzugsvariante gegeben.

Unter Beachtung der aufgeführten Aspekte bietet die **Variante 3** Vorteile gegenüber den übrigen Angebotskonzepten. Aus diesem Grund ist die Variante 3 – die vorläufige Bestvariante – hin zum Zielkonzept inkl. Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn zu optimieren. Insbesondere ist der Busknoten in Wilchingen-Hallau zu realisieren. Auf Basis dieses Zielkonzepts ist zudem eine Weiterentwicklung des Fahrplankonzeptes mit Ausweitung des Angebots zu untersuchen. Schließlich sind auch Überlegungen für eine Vorstufe – ohne Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn – anzustellen.

6. Zielkonzept, Zielkonzept+ und Vorstufe

6.1 Variantenübersicht

Tabelle 1 bietet einen Überblick über die in diesem und Kapitel 5 betrachteten Varianten. Dabei ist die Hochrheinstrecke immer als elektrifiziert unterstellt.

Variante	Stufe	Bodensee-Gürtelbahn elektrifiziert	Charakteristik
Variante 1	Grobprüfung	Nein	Optimierung Knoten Singen, nach Variantenvergleich (Varianten 1 bis 3) nicht weiter verfolgt
Variante 2	Grobprüfung	Nein	Optimierung Knoten Basel Bad Bf, nach Variantenvergleich (Varianten 1 bis 3) nicht weiter verfolgt
Variante 3	Grobprüfung	Nein	Kompromiss aus Variante 1 und 2, nach Variantenvergleich (Varianten 1 bis 3) als vorläufige Bestvariante identifiziert und in weiteren Untersuchungen vertieft
Zielkonzept	Vertiefung	Ja	Optimierung Variante 3, hauptsächlich hinsichtlich Wendesituation und Busknoten Wilchingen-Hallau
Zielkonzept+	Vertiefung	Ja	Weiterentwicklung des Zielkonzepts durch Ausweitung des Angebots (30'-Takt IRE)
Vorstufe	Vertiefung	Nein	Vorstufe des Zielkonzepts ohne Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn

Tabelle 1 Variantenübersicht

Eine detaillierte Bewertung der Varianten 1 bis 3 ist in Anhang 6 zu finden.

6.2 Zielkonzept

6.2.1 Überarbeitung / Optimierungen

Das im Anhang 7 dokumentierte Zielkonzept ist auf der Hochrheinstrecke gegenüber der in Kapitel 5.7 beschriebenen und bis dahin ermittelten Bestvariante (Variante 3) in folgenden Bereichen überarbeitet:

- Anpassung Ankünfte / Abfahrten Basel zur Optimierung der Wendesituation: Mit einem leichten Anpassen der RB-Lagen ist die Wendesituation in Basel Bad Bf optimierbar, indem die Möglichkeit von Kurzwenden IRE / RB geschaffen wird (siehe auch Kapitel 7).
- Optimierung der Zugfolge Neuhausen – Schaffhausen:
  Nach dem Abschluss der Modernisierung der Strecke Schaffhausen – Beringen – Erzingen ist bei der Ein-/Ausfahrt Schaffhausen eine Zugfolgezeit von 2 Minuten erforderlich. Die gegenseitig abhängigen Lagen von RB und IRE sind entsprechend optimiert.

- Beschleunigung RB Schaffhausen – Erzingen für Busknoten Klettgau mit FLIRT (bzw. Fahrzeug mit vergleichbaren fahrdynamischen Eigenschaften) statt GTW.

Für die Herstellung des Busknotens im Klettgau fehlen etwa 1,5 Minuten, falls die RB mit GTW gefahren wird. Um die minimale Zugfolge Neuhausen – Schaffhausen einzuhalten sowie trotzdem den Busknoten Wilchingen-Hallau zu ermöglichen ist die umgesetzte Beschleunigung durch Nutzung von FLIRT erforderlich. Bei einem Einsatz von GTW sind alternative Lösungen denkbar:

- Entfall des Haltes Beringen Bad Bf bei einer HVZ-Zuglage pro Stunde in Fahrtrichtung Erzingen (Taktabweichung).
- Mit überarbeitetem VzG im Klettgau (Aufhebung Bahnübergänge im Zusammenhang mit der Modernisierung) sind unter Umständen Fahrzeitgewinne bei der RB erzielbar.
- Mit Investitionen auf der Bodensee-Gürtelbahn (Anpassung VzG, zweigleisiger Abschnitt bei Ludwigshafen) ist unter Umständen eine Beschleunigung der IRE zwischen Schaffhausen und Ludwigshafen (Eigenkreuzung) und somit auch eine Optimierung der RB-Lage möglich.
- Ggf. ist der Halt Beringen Bad Bf mit GTW erst mit der Umsetzung von Kombinationen der oben genannten Möglichkeiten realisierbar.

6.2.2 Elektrifizierung Bodensee-Gürtelbahn

Die Fahrzeiten der IRE mit dem Referenzfahrzeug FLIRT sind trotz des hohen Beschleunigungsvermögens bedeutend größer als diejenigen mit NeiTech-Triebzügen VT 611 (siehe auch Kapitel 4.4). Dies hängt mit den stellenweise deutlich tieferen zulässigen Geschwindigkeiten für konventionelle Züge zusammen.

Da jedoch die mit FLIRT gefahrenen RB deutlich schneller als mit den heute eingesetzten VT 650 Regio-Shuttle sind, lässt sich das im Bezugsfall vorhandene Kreuzungsraster IRE / RB weiter umsetzen. In diesem Fall wird der IRE jedoch über Friedrichshafen hinaus bis Lindau verlängert[1]. Das Konzept zeichnet sich durch gute Anschlüsse des IRE in Friedrichshafen auf den IRE der Südbahn nach Ulm aus. Zudem lässt sich die eine zweistündliche RB der Bodensee-Gürtelbahn auf die Takt-RB der Südbahn durchbinden. Auch die zweite zweistündliche RB der Bodensee-Gürtelbahn ist – zumindest in der HVZ – auf den Verdichter nach Ravensburg durchbindbar.

[1] Alternativ ist es auch denkbar, dass der IRE-Sprinter der Südbahn die Fahrlage Friedrichshafen – Lindau besetzt und der IRE der Bodensee-Gürtelbahn auf Anschluss fährt

Alternativ ist auch eine Drehung um 60 Minuten beim IRE der Bodensee-Gürtelbahn möglich. Dann ist jedoch der Anschluss vom IRE-Sprinter der Südbahn in Richtung Lindau bzw. die wahlweise Führung des IRE von Singen oder des IRE-Sprinters nach Lindau nicht mehr gegeben. Bei einer Drehung um 60 Minuten ist das RB-System der Bodensee-Gürtelbahn so anzupassen, dass der Anschluss in Singen mit dem ICE in Richtung Stuttgart erhalten bleibt.

6.3 Zielkonzept+

Das Zielkonzept+ ist eine Weiterentwicklung auf Basis des Zielkonzepts. Hierbei wird das IRE-Angebot zu einem 30'-Takt zwischen Basel und Singen ausgebaut. Die Bodensee-Gürtelbahn wird dabei nicht verändert. Bei einer entsprechenden Ausweitung des Angebots sind folgende Aspekte abzuwägen:

- Verkehrliche Notwendigkeit (z.B. Anschlussabnahme beider stündlicher Fernverkehrszüge in Basel Bad Bf, Nachfragesteigerung)
- Finanzierung der zusätzlichen Zugkilometer

In einem solchen Konzept übernimmt der IRE den RB-Halt Lauchringen West. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Halte Lauchringen West und Lauchringen alternierend jeweils stündlich zu bedienen. In Netzgrafik und Bildfahrplan (siehe Anhang 8) ist der Fall mit halbstündlicher Bedienung von Lauchringen West dargestellt. Durch den zusätzlichen Halt des IRE weichen die Ankunfts-/Abfahrtszeiten in Basel bei fixierten Lagen in Schaffhausen leicht vom Zielkonzept ab. Ein Anschlussverlust in Basel ist damit jedoch nicht verbunden. Der IRE-Halt in Lauchringen West ermöglicht es jedoch, die RB Basel – Waldshut – Erzingen auf den Abschnitt Basel – Waldshut zurückzunehmen, d.h. das RB-Angebot zwischen Basel und Waldshut wird dadurch nicht reduziert.

Der 30'-Takt des IRE kann auf den Abschnitt Basel – Schaffhausen beschränkt werden, während Singen weiterhin stündlich sowie Friedrichshafen zweistündlich umsteigefrei angebunden sind. Eine Einsparung von Umläufen gegenüber der Führung bis Singen ist damit jedoch nicht erzielbar (vgl. Kapitel 7).

Die Verbindung Schaffhausen – Basel ist eine Schweizer-Städteverbindung, für welche ein 30'-Takt zum Standard gehört. Mit der Einführung des 30'-Takts zwischen Zürich und Schaffhausen wäre zwar ein 30'-Takt indirekt mit Umstieg in Zürich hergestellt, die Fahrzeit beträgt zwischen Schaffhausen und Basel SBB jedoch etwa 105 Minuten und ist somit 45 Minuten langsamer als die Direktverbindung über Waldshut nach Basel Bad Bf.

Netzgrafik und Bildfahrpläne des Zielkonzepts+ sind im Anhang 7 ersichtlich.

6.4 Vorstufe für Zielkonzept ohne Elektrifizierung Bodensee-Gürtelbahn

Wie in Kapitel 5.1 erwähnt, erfolgt die Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn voraussichtlich deutlich später als diejenige der Hochrheinstrecke. Es ist deshalb unabdingbar, dass ein befriedigendes – und wenn möglich zum Zielkonzept aufwärtskompatibles – Angebotskonzept für eine solche Vorstufe entwickelt wird. Dabei ist zu beachten, dass die Bodensee-Gürtelbahn in der Vorstufe als „Diesel-Insel“ zwischen der dann elektrifizierten Hochrheinstrecke und Südbahn zu betreiben ist.

Der IRE Singen – Friedrichshafen (nach wie vor mit NeiTech-Fahrzeugen gefahren) wird über Friedrichshafen hinaus nach Lindau verlängert. Damit besteht in Lindau die Möglichkeit, eine Durchbindung mit der NeiTech-Linie der BEG nach Augsburg (AFEX) umzusetzen oder zumindest den gleichen Fahrzeugpool ohne zusätzliche Überführungsfahrten zu nutzen.

Um für die RB-Linien ein ähnliches Ziel zu erreichen, ist die RB der Bodensee-Gürtelbahn in Friedrichshafen zumindest zweistündlich auf die RB der Südbahn durchzubinden. Diese verkehrt in der Vorstufe somit mit Diesel unter Fahrdraht bis Aulendorf. In Aulendorf findet ein Bruch der RB Friedrichshafen – Aulendorf – Ulm statt (RB mit E-Traktion auf dem Abschnitt Aulendorf – Ulm).

Wird das Zielkonzept der Hochrheinstrecke mit dem Bezugsfall der nicht elektrifizierten Bodensee-Gürtelbahn kombiniert, wie es in Variante 3 dargestellt ist, so entstehen Übergangszeiten von 1 Minute (entspricht Haltezeit) in Singen: der Anschluss zwischen den schnellen Produkten auf der Bodensee-Gürtelbahn und der Hochrheinstrecke ist nicht hergestellt. Damit sind keine schnellen überregionalen Verbindungen Basel – Singen – Friedrichshafen mehr vorhanden; die beiden Strecken sind für sich optimiert.

Netzgrafiken und Bildfahrpläne der Bodensee-Gürtelbahn für die Vorstufen sind im Anhang 9 ersichtlich.

6.4.1 Variante I

In der Variante I ist der IRE so konstruiert, dass ein befriedigender Übergang zwischen den gebrochenen IRE in Singen besteht und zudem auch in Friedrichshafen ein Anschluss auf die Südbahn vorhanden ist. Weiter sollen die IRE-Lagen auch ein befriedigendes RB-Konzept ermöglichen. In Richtung Stuttgart besteht in Singen nur ein zweistündlicher Anschluss von der RB der Bodensee-Gürtelbahn auf den RE. In der anderen Stunde besteht ein halbstündiger Übergang auf den ICE.

In Friedrichshafen besteht nur in eine Richtung ein knapper Anschluss vom IRE der Südbahn auf den IRE der Bodensee-Gürtelbahn. Das Ziel der RB-Taktdurchbindung ist nicht umsetzbar. Eine der zweistündlich in Friedrichshafen endenden RB der Bodensee-Gürtelbahn hat in Friedrichshafen keine befriedigenden Anschlüsse. Die zweite zweistündliche RB der Bodensee-Gürtelbahn ist zumindest in der HVZ auf den Verdichter nach Ravensburg durchbindbar. Das Ziel einer Durchbindung des IRE nach Lindau-Reutin sowie eine Weiterführung bzw. Anschluss in Richtung Augsburg ist umsetzbar.

Wie der Bildfahrplan zeigt, ist die Verteilung der je zweistündlichen RB – RB – IRE auf der Bodensee-Gürtelbahn gut.

6.4.2 Variante II

In der Variante II ist der IRE Singen – Friedrichshafen – Lindau auf den Knoten 00 des Fernverkehrs in Singen optimiert. Damit werden jedoch weder in Friedrichshafen noch in Lindau Anschlüsse auf die übrigen schnellen Produkte hergestellt. Der Anschluss des IRE aus Basel in Singen funktioniert stündlich auf die RB nach Friedrichshafen, welche auf der Bodensee-Gürtelbahn bis Markdorf im exakten Stundentakt umsetzbar ist. Zwischen Markdorf und Friedrichshafen müssen jedoch zweistündlich 2 Halte entfallen. Eine Durchbindung der RB nach Aulendorf ist nur mit einer Standzeit in Friedrichshafen von ca. 15 bis 20 Minuten umsetzbar.

6.4.3 Varianten III und IV

In den Varianten III und IV ist der IRE Singen – Friedrichshafen – Lindau auf den Knoten Friedrichshafen optimiert, wo ein idealer Anschluss auf den IRE der Südbahn besteht. Auch in Lindau bestehen damit gute Anschlüsse auf den Fernverkehr in Richtung München. Zudem sind die Durchbindungsmöglichkeit bzw. der Anschluss auf die NeiTech-Linie in Richtung Augsburg gegeben.

In Singen besteht kein Anschluss des IRE in Richtung Stuttgart. Dieser wird mit der RB der Bodensee-Gürtelbahn hergestellt. Jedoch kann vom IRE ein guter Übergang auf den IRE der Schwarzwaldbahn hergestellt werden. Der Anschluss auf den IRE der Hochrheinstrecke beträgt etwa 15 Minuten.

Eine zweistündliche Durchbindung der RB Bodensee-Gürtelbahn auf die RB Aulendorf in Friedrichshafen ist mit kurzer Standzeit umsetzbar. Die RB der Bodensee-Gürtelbahn weist zudem einen guten Anschluss auf den IRE nach Lindau auf.

Die beiden Varianten III und IV unterscheiden sich lediglich bei der Lage der zweiten zweistündlichen RB der Bodensee-Gürtelbahn. Während bei der Variante III eine Lage mit guter Verteilung der drei zweistündlichen Züge auf der Bodensee-Gürtelbahn erzielt wird, ist bei der Variante IV eine anschlussoptimierte Lage der RBs für Friedrichshafen umgesetzt.

6.4.4 Zusammenfassung Vorstufen

Einen Überblick über die verschiedenen Varianten der Vorstufe ist in Tabelle 2 zu sehen.

Variante	Grundlage	Anschlüsse Singen IRE	Anschlüsse Singen RB	Anschluss IRE Fr'hafen Ri. Ulm	Lage Lindau IRE für Durchbindung	RB-Durchbindung Fr'hafen
I	IRE Optimierung Singen und Friedrichshafen	IRE Hochrhein 15'	Gut für FV-Knoten	Nur in eine Richtung	gut	Nicht möglich
II	IRE Optimierung Knoten Singen	Gut für FV-Knoten	IRE Hochrhein 10'	Nicht vorhanden	schlecht	Lange Standzeit
III	IRE Optimierung Knoten Friedrichshafen	IRE Hochrhein 15'	Gut für FV-Knoten	Optimal:4'	gut	Alle 2h gut
IV	IRE Optimierung Knoten Friedrichshafen	IRE Hochrhein 15'	Gut für FV-Knoten	Optimal:4'	gut	Alle 2h gut

Tabelle 2 Überblick Varianten Vorstufe

In der Südbahnstudie[2] wurde ein Konzept mit grundsätzlich identischen Lagen gemäß Variante IV unterstellt. Die Anschlussoptimierung wurde dabei höher bewertet. Somit ist zunächst die Variante IV als weiterzuverfolgende Vorstufe festgelegt worden.

6.5 Vorstufen und Zielkonzept+

Bereits ohne Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn lässt sich das Zielkonzept+ im Abschnitt Basel – Schaffhausen bzw. Singen umsetzen. Dieses ist

[2] SMA, DB Netz, 2008: Angebotskonzepte für den SPNV im Raum Allgäu / Südbahn bei einer Elektrifizierung

unabhängig von der letztendlich realisierten Vorstufe. Exemplarisch ist in Anhang 9 eine Angebotskonzept mit 30'-Takt IRE und Vorstufe IV aufgeführt (Kombination des Zielkonzepts+ für den Abschnitt Basel – Singen und der der Vorstufe IV für den Abschnitt Singen – Lindau).

6.6 Gleisbelegungen

Um die Angebotskonzepte zu vertiefen, sind die Gleisbelegungen von Basel Bad Bf, Erzingen, Schaffhausen, Singen, Radolfzell und Friedrichshafen zu überprüfen. Die entsprechenden Darstellungen sind im Anhang 7 (Zielkonzept) bzw. Anhang 9 (Vorstufe) aufgeführt. Auf die Gleisbelegungen des Zielkonzepts+ wird jeweils separat eingegangen. Die Gleisbelegungen der Vorstufe unterscheiden sich zwischen Basel und Schaffhausen nicht von denen des Zielkonzepts.

Basel Bad Bf

In der Gleisbelegung für den Bahnhof Basel Bad Bf sind mit dem Zielkonzept keine Probleme erkennbar. Im Zielkonzept+ ist die Lage der IRE leicht geändert, da die IRE durch den zusätzlichen Halt in Lauchringen West später ankommen und früher abfahren. Die Gleisbelegung im Zielkonzept+ funktioniert jedoch in gleicher Weise. Für die Verdichtung der IRE ist Kapazität vorhanden. Eine Weiterführung sowohl des IRE als auch der RB in Richtung Basel SBB über die heutige Strecke oder auch über eine neu zu bauende Innenstadt-Strecke ist prinzipiell möglich.

Erzingen

Die Gleisbelegung Erzingen ist mit den vorhandenen Zuglagen und der vorgesehenen Topologie im Zielkonzept nicht einfach umsetzbar, da gemäß vorhandenen Unterlagen in Gleis 1 keine Züge von / nach Schaffhausen wenden können:

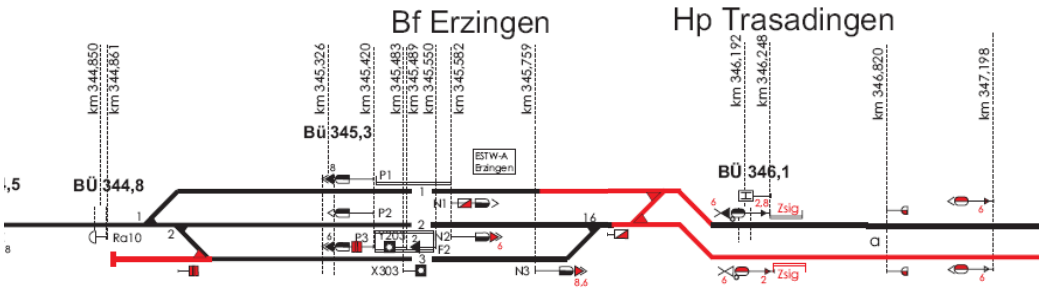


Abbildung 13 Gleistopologie Erzingen nach dem Umbau

Für eine Lösungsfindung sind folgende 5 Möglichkeiten denkbar:

1. Zusätzliche Weichenverbindung (mit erforderlicher Signaltechnik) zur Ermöglichung von Fahrten von Gleis 1 in Richtung Schaffhausen im Ostkopf des Bahnhofs
2. Rangieren der RB von Schaffhausen (Wendezeit 11 Minuten) mit Umsetzen von Gleis 1 auf Gleis 2 innerhalb von 5 Minuten.
3. Gleisabschnittssignale Gleis 3 (220 m Bahnsteiglänge): Hier ist zu beachten, dass je nach Lage der Gleisabschnittsignale Restriktionen bezüglich des Fahrzeugeinsatzes entstehen können (FLIRT-Doppeltraktion ist deutlich länger als GTW-Doppeltraktion). Evtl. lassen sich die Ergebnisse der aktuellen Studie als Input für eine Überarbeitung der Infrastrukturplanungen im Klettgau heranziehen.
4. Vorzeitige Wende der RB von Waldshut in Lauchringen (ohne Umlaufeinsparung), d.h. keine systematische Bedienung von Grießen und keine Direktverbindung von Lauchringen nach Erzingen.
5. Durchbindung der RB Basel Erzingen nach Schaffhausen, d.h. Umläufe Basel – Erzingen und Erzingen – Schaffhausen lassen sich nicht trennen.

Im Anhang 7 sind je eine Gleisbelegungen für die Durchbindung der RB von Waldshut nach Schaffhausen und die für die Wende der RB auf Gleis 1 abgebildet.

Mit dem Zielkonzept+ entfallen die RB zwischen Waldshut und Erzingen und werden durch IRE ersetzt. Daher kann die RB von Schaffhausen immer konsequent auf sich selbst in Gleis 3 wenden. Der oben geschilderte Konflikt tritt hier nicht auf. Analoges gilt für die Kombination einer Vorstufe mit dem Zielkonzept+.

Schaffhausen

Für den Bahnhof Schaffhausen kann eine 6. Bahnsteigkante sowie eine zusätzliche Gleisverbindung im Westkopf unterstellt werden (siehe Abbildung 14). Die folgenden Betrachtungen sind unabhängig davon, ob das Zielkonzept oder das Zielkonzept+ gewählt wird. Für die zusätzlichen IRE-Züge ist Kapazität an den Gleisen 4 und 5 zur vollen Stunde vorhanden. Die ggf. notwendigen Rangierfahrten, wenn der zusätzliche IRE in Schaffhausen endet, wären gesondert zu untersuchen, scheinen aber machbar.

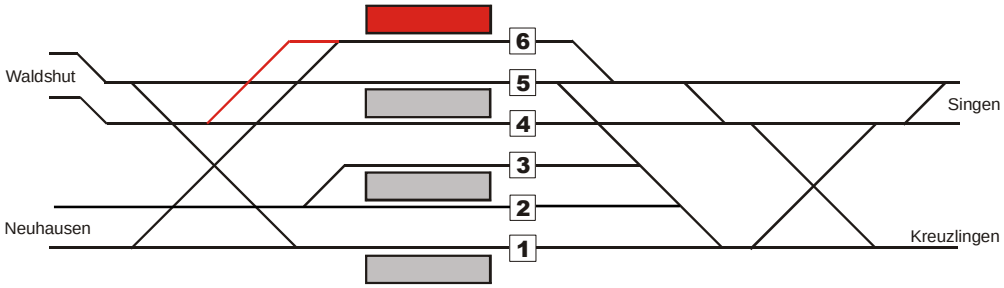


Abbildung 14 Topologie Bahnhof Schaffhausen (zusätzliche Infrastruktur rot)

Zu den Minuten 15 und 45 besteht die höchste Belastung. Es sind 8 Züge nahezu gleichzeitig im Bahnhof (siehe Gleisbelegung Bahnhof Schaffhausen im Anhang 7). Dies sind im Einzelnen:

- Wendende Grundtakt-RB von Erzingen
- Wendende RB von der Seelinie
- Beginnende oder endende S12 nach Winterthur
- Endende oder beginnende S24 von Winterthur
- Beginnender oder endender Fernverkehrszug von Zürich
- Durchfahrender Fernverkehrszug von oder nach Singen
- Je Richtung eine durchfahrende S-Bahn Jestetten – Singen

Da nur 6 Gleise vorhanden sind, ist bei gegebener Infrastruktur unter Berücksichtigung der Konflikte in den Bahnhofsköpfen die Gleisbelegung nicht realisierbar. Die im Anhang dargestellte Gleisbelegung ist somit nicht konfliktfrei.

Davon nicht betroffen sind jedoch die Züge der Hochrheinstrecke. Die IRE haben den Halt zur halben Stunde, wenn ausreichend Gleiskapazität vorhanden ist, auf den Gleisen 4 und 5. Die RB wendet innerhalb von 8 Minuten auf dem neu nutzbaren Gleis 6. Durch die Wende der RB von Erzingen und den 15'-Takt ist das Gleis 6 ausschließlich von der RB nutzbar. Da zur halben Stunde außerdem gleichzeitig die IRE beider Richtungen im Bahnhof sind, ist die Notwendigkeit des 6. Bahnsteigs allein aus den Lagen der Züge des Hochrheins gegeben.

Die Durchbindung der Züge von Erzingen in Richtung Seelinie ist mit den gegebenen Minuten nicht möglich, da die S-Bahn von Singen nach Jestetten parallel verkehrt und ein Abkreuzungskonflikt entstehen würde.

Zur Lösung der Gleisbelegung erforderlich scheinen zumindest auf 2 Gleisen Gleisabschnittssignale, um ein Gleis gleichzeitig mit 2 Zügen belegen zu können. Des Weiteren kann auch die Herstellung von unabhängigen Fahrstraßen in

beiden Bahnhofsköpfen sowie die Prüfung von Veränderungen bei den Durchbindungen zu einer Lösung beitragen.

Das entwickelte Zielkonzept bzw. dessen Fahrbarkeit in den Bahnhöfen und auf den Strecken basiert auf Randbedingungen und Annahmen, welche der Studie zu Grunde gelegt sind. Bei einer weiteren Vertiefung des Konzepts ist die Fahrbarkeit durch DB Netz mit einer RuT[3]-Konstruktion zu verifizieren.

Singen

Für den Bahnhof Singen ist mit dem Zielkonzept kein Problem erkennbar. Im Zielkonzept+ ist für den ggf. in Singen endenden IRE Kapazität vorhanden. In der Vorstufe ist mit dem Brechen der IRE-Linie die Kapazität des Bahnhofs weitergehend ausgeschöpft. Der IRE von Friedrichshafen/Lindau hat eine sehr ungünstige Wende von knapp 2 Stunden. Ggf. kann hier nach Feinprüfung auf Rangieren der endenden IRE-Linien von Basel Bad Bf und Friedrichshafen nicht verzichtet werden.

Radolfzell

Für den Bahnhof Radolfzell sind im Zielkonzept ebenfalls keine Probleme erkennbar. Im Zielkonzept+ ergeben sich keine Änderungen. Für die Vorstufe ist die Kapazität der Gleise 5 und 6 für alle durchfahrenden Züge ausreichend. Es ist alternativ auch möglich, die Züge von/nach Friedrichshafen alle über die Gleis 3 und 4 zu fahren. Auf den Gleisen 5 und 6 verbleiben dann die Züge von/nach Konstanz.

Friedrichshafen

Die Gleisbelegung des Bahnhofs Friedrichshafen Stadt scheint für die Zugfahrten im Zielkonzept und in der Vorstufe realisierbar. Aufgrund ungünstiger Wenden und vieler endender Züge ist eine hohe Anzahl an Rangierfahrten erforderlich. Für den Betrieb sind diese schwierig zu handhaben. Mit Fixierung der Südbahn und Strecke nach Lindau ist die Gleisbelegung präzis zu prüfen. Im Zielkonzept+ ergibt sich keine Veränderung.

[3] Rechnerunterstütztes Trassierungssystem von DB Netz

7. Umläufe und Fahrzeugbedarf

Die Bestimmung der Grundumläufe erfolgt mit Hilfe von Tabellen, welche im Anhang 10 für Bezugsfall, Zielkonzept, Zielkonzept+ (Weiterentwicklung) und Vorstufe aufgeführt sind. Sie dienen zur Bestimmung der benötigten Anzahl Fahrzeuge für das geplante vertaktete Angebot. Ggf. gewünschte zusätzliche Verstärkungen einzelner Lagen oder zusätzliche Züge sind nicht berücksichtigt.

Betriebsreserve

Als Werkstatt- und Betriebsreserve werden 10% angesetzt. Die rechnerischen Werte werden auf die nächste ganze Zahl aufgerundet.

Die Umlaufermittlung erfolgt mit dem Referenzfahrzeug FLIRT. Für die 4-teilige Version ist eine Sitzplatzkapazität von 219 Plätzen angenommen. Die heute eingesetzten VT 611 haben etwa 135 Sitzplätze, die VT 641 etwa 80 Plätze.

Auf Basis der vorhandenen RES-Zahlen sowie einer prognostizierten Fahrgastzunahme von 30% (siehe auch Kapitel 3.2) sind folgende Fahrlagen, die eine Doppeltraktion FLIRT benötigen, identifiziert worden:

Doppeltraktionen

- Hochrhein:
  - IRE an W(Sa) mit einer Ankunft in Basel nach 07.00
  - RB an W(Sa) mit Ankünften in Basel kurz nach 07.00 und 08.00
  - RB an W(Sa) mit einer Abfahrt in Basel kurz vor 07.00
  - IRE an Sa mit einer Abfahrt in Basel vor 09.00
  - IRE an S mit Ankünften in Basel nach 19.00 und 21.00
- Bodensee-Gürtelbahn:
  - RB an W(Sa) mit einer Ankunft in Friedrichshafen kurz vor 07.00
  - IRE an Sa mit Ankünften in Friedrichshafen vor 11.00 und 19.00
  - IRE an S mit einer Ankunft in Friedrichshafen vor 15.00
  - IRE an S mit Abfahrten in Friedrichshafen nach 17.00 und 19.00

Die notwendigen 4 Verstärkungsleistungen an W(Sa) auf der Hochrheinstrecke finden alle gleichzeitig zur morgendlichen HVZ statt, weshalb 4 zusätzliche Triebzüge notwendig sind. Da auch auf der Bodensee-Gürtelbahn eine Leistung in der morgendlichen HVZ verstärkt werden muss, ist ein weiterer zusätzlicher Triebzug notwendig. Aufgrund der Einsatzmöglichkeiten des Referenzfahrzeuges FLIRT sind die Triebzüge sowohl für Schülerverkehr mit Stehplätzen an Werktagen als auch für Fahrradtransport an Wochenenden geeignet. Damit lassen sich im Zielkonzept mit den an W(Sa) notwendigen 5 Verstärkungsein-

heiten auch die an den Wochenenden erforderlichen Verstärkungsleistungen abdecken.

Bahnsteiglängen

Auf der Hochrheinstrecke und der Bodenseegürtelbahn sind die Mindestbahnsteiglängen in Radolfzell-Haselbrunn und Stahringen jeweils 80 m. Ansonsten sind 120 m das Minimum[4], wobei eine Doppeltraktion FLIRT eine Nutzlänge von 150 m benötigt. In diesen Fällen ist für die Einzellagen in Doppeltraktion eine Lösung, z.B. mit selektiver Türsteuerung oder Verlängerung der Bahnsteige, zu finden.

Zielkonzept

Für das Zielkonzept mit durchgehender Elektrifizierung von Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn sind ohne Werkstatt- und Betriebsreserve 18 Umläufe bzw. 23 Triebzüge notwendig[5]. Bei einem typischen Reservestand von 10% ist somit eine Flotte von **26 Kompositionen** vorzuhalten.

Der Umlaufbedarf entspricht trotz RB-Verlängerungen Lauchringen – Erzingen und Singen – Radolfzell dem Bedarf im Bezugsfall. Der Fahrzeugbedarf ist jedoch um 1 Einheit geringer als beim Bezugsfall, da die Verstärkereinheiten der RB an W(Sa) als Verstärkereinheiten für die IRE an Sonntagen verwendbar sind. Dies ist im Bezugsfall aufgrund der unterschiedlichen Fahrzeuge (VT 611 und 641) nicht möglich.

Umlaufoptimierung Zielkonzept

Dank des einheitlichen Fahrzeugtyps sind ggf. Kurzwenden IRE / RB in Basel mit 6 bzw. 7 Minuten in Betracht zu ziehen. Neben einer Entspannung der Gleisbelegung in Basel Bad Bf (vergleiche Kapitel 6.6) ergibt sich damit eine Einsparmöglichkeit von 1 Umlauf bzw. 1 Triebzug (d.h. 17 Umläufe bzw. 22 Triebzüge ohne Reserve oder eine Flotte von 25 Kompositionen mit Reserve).

Zielkonzept+

Mit der Weiterentwicklung des Zielkonzepts zum IRE-Halbstundentakt steigt die Anzahl Umläufe um 2 bzw. 3 Umläufe gegenüber dem Zielkonzept bzw. dem optimierten Zielkonzept. Über die Anzahl notwendiger Doppeltraktionen lässt sich ohne vertiefende Nachfrageprognose keine Aussage treffen, da ggf. eine Verteilung der Nachfrage auf die zusätzlichen Zuglagen stattfinden kann.

Vorstufe

Bei der Vorstufe sind aufgrund der Trennung der Flotten elektrisch und Diesel in Singen sowohl die Anzahl Umläufe (+1 Umlauf) als auch die Anzahl Fahrzeuge (+ 2 Einheiten) höher als beim Zielkonzept. Bei der Vorstufe sind jedoch „Rest-

---

[4] Betroffen sind die Bahnsteige in Beuggen, Schwörstadt, Laufenburg, Dogern, Lauchringen West, Sipplingen, Überlingen, Überlingen-Nußdorf, Salem und Kluftern sowie Fischbach, Manzell und Landratsamt in Friedrichshafen.

[5] Die Verlängerung Friedrichshafen – Lindau des IRE ist wegen der Abtauschmöglichkeit der Fahrlage mit dem Südbahn-Spinter nicht berücksichtigt. Die Standzeit des IRE in Friedrichshafen würde jedoch eine solche Verlängerung umlaufneutral ermöglichen.

bestände“ der VT 611 und prinzipiell auch der VT 641 von der Hochrheinstrecke für den Mehrbedarf der Bodensee-Gürtelbahn verwendbar. Zudem sind die Umläufe bei einer Detailplanung unter dem Aspekt der in der Tabelle nicht berücksichtigten aber möglichen Durchbindungen (IRE in Lindau nach Augsburg / RB in Friedrichshafen nach Aulendorf / Ravensburg) zu betrachten. Für die Vorstufe werden 19 elektrische Fahrzeuge, d.h. etwa 75% des Gesamtbedarfs, benötigt.

Die ermittelte Flottengröße ist beim Vorliegen eines detaillierten Fahrplankonzepts mit sämtlichen Einzellagen zu verifizieren.

8. Zusammenfassung und Empfehlung

Das Land Baden-Württemberg sowie der Kanton Schaffhausen beauftragten die Gutachter, eine Elektrifizierung der Hochrheinstrecke zu bewerten, indem einerseits die Möglichkeiten für ein attraktives Betriebskonzept und andererseits die notwendigen Investitionen zu analysieren waren. Als logische Fortsetzung der Studie waren die entsprechenden Überlegungen auch für die Elektrifizierung auf der Bodensee-Gürtelbahn im Abschnitt Radolfzell – Friedrichshafen anzustellen.

Das entwickelte Zielkonzept auf der Hochrheinstrecke zeigt, dass ein mit der Weiterentwicklung des ITF Baden-Württemberg 2020 sowie Planungen des Kantons Schaffhausen kompatibles Angebotskonzept möglich ist. Auch die Weiterentwicklung des S-Bahn-Systems in Basel wird dadurch nicht behindert. Die erzielbaren Reisezeiten des IRE liegen in der Größenordnung des Bezugsfalls. Der Fahrzeitverlust durch fehlende NeiTech-Eigenschaften wird durch die bessere Beschleunigung sowie kürzere Haltezeiten der Elektrotriebzüge größtenteils kompensiert. Für die Reisezeiten der RB ist aufgrund der spurtstarken Elektrotriebzüge trotz zusätzlicher Halte eine Verringerung von etwa 3 Minuten zwischen Basel Bad Bf und Waldshut erzielbar.

Das dichte Fahrplanangebot auf der Hochrheinstrecke mit dem IRE-Stundentakt sowie dem unterlegten RB-Halbstundentakt rechtfertigt eine Elektrifizierung unter ökologischen bzw. vor allem unter ökonomischen Gesichtspunkten. Bei kurzen Halteabständen sowie hohen Höchstgeschwindigkeiten – wie auf der Hochrheinstrecke vorhanden – sind mit elektrischen Triebzügen die tiefsten Betriebskosten erzielbar. Auch ermöglicht die Elektrifizierung den Einsatz eines einzigen Fahrzeugtyps für alle Zuggattungen und Einsatzzwecke. Dieser Umstand erleichtert die Bedingungen für eine Ausschreibung der Verkehrsleistungen auf der Hochrheinstrecke, indem ein EVU eine einheitliche Flotte sowie ein einfaches Unterhaltssystem aufbauen kann. Bei einer Fortführung des NeiTech-Betriebes mit Dieselfahrzeugen stellt sich für ein EVU und den Aufgabenträger zudem das Problem, dass aktuell keine adäquaten Fahrzeuge am Markt erhältlich sind. Eine Neu- oder Weiterentwicklung ist mit hohen Kosten verbunden.

Die Hochrheinstrecke verbindet mit Basel und Schaffhausen sowie Singen drei bereits elektrifizierte Betriebstellen. Eine Elektrifizierung der Hochrheinstrecke stellt hier also einen Lückenschluss dar und kann von Synergien bereits vorhandener Anlagen profitieren. Damit der Nutzen der Elektrifizierung der Hochrheinstrecke voll zum Tragen kommt, ist idealerweise möglichst gleichzeitig auch die Bodensee-Gürtelbahn mit zu elektrifizieren. Erst damit lassen sich die Vorteile einer attraktiven überregionalen Linie Basel – Singen – Friedrichshafen (– Lindau) und einer wirtschaftlichen Betriebsform vollumfänglich umsetzen.

Da es jedoch absehbar ist, dass eine Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn wohl erst deutlich nach der Elektrifizierung der Hochrheinstrecke erfolgen kann, ist während eines längeren Zwischenzustands mit einer Vorstufe des Zielkonzepts zu planen. Die dazu angestellten Überlegungen haben jedoch gezeigt, dass auch für eine solche Vorstufe ein befriedigendes und zum Zielkonzept aufwärtskompatibles Fahrplanangebot möglich ist.

Ebenfalls aufwärtskompatibel ist die Ausweitung des IRE-Angebots auf einen 30'-Takt zwischen Basel Bad Bf und Schaffhausen bzw. Singen. Aufgrund der eher langen Wendezeiten in Basel Bad Bf und Singen und Einsparung der RB im Abschnitt Waldshut – Erzingen ist dieses Angebot mit vergleichsweise geringem Umlaufmehrbedarf realisierbar.

Generell ist das VzG der Strecken zwischen Basel Bad Bf und Friedrichshafen mit der Aufgabe der Neigetechnik zu überprüfen. Hier sind u.U. für die neuen, konventionellen und leistungsstarken Fahrzeuge Zeitgewinne möglich, die sich entweder als Reserve oder zur Verkürzung der Reisezeit verwenden lassen.

Denkbar ist bei einer elektrifizierten Hochrheinstrecke (bereits ohne elektrifizierte Bodensee-Gürtelbahn) die Einführung zusätzlicher grenzüberschreitender Durchbindungen in die Schweiz. In Basel, Waldshut und Singen bzw. Konstanz besteht prinzipiell die Möglichkeit, die neu mit E-Traktion verkehrenden Züge der Hochrheinstrecke entweder z.B. nach Basel SBB zu verlängern oder in Waldshut auf Schweizer Züge durchzubinden. Die technische Realisierbarkeit sowie die Abstimmung mit den Planungen der betroffenen Kantonen ist jedoch separat zu untersuchen.

15.12.2009 / mm/mf
T:\1564-NVBW, Elektrifizierung Hochrhein\L2 Ergebnisse\L22 Berichte\Bericht Hochrhein Gürtelbahn_2-00.doc

9. Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Hochrheinstrecke Basel Bad Bf – Singen 1
Abbildung 2 Bodensee-Gürtelbahn Singen – Radolfzell – Friedrichshafen 2
Abbildung 3 Linienkonzept Basel Bad Bf – Singen – Friedrichshafen 4
Abbildung 4 Absolute Besetzung in Anzahl Fahrgästen für alle IRE-Lagen aus Richtung Basel 6
Abbildung 5 Absolute Besetzung in Anzahl Fahrgästen für alle IRE-Lagen in Richtung Basel 7
Abbildung 6 Querschnittsbelastung aller IRE aus Richtung Basel (oben) / in Richtung Basel (unten) 8
Abbildung 7 Verhältnis Ein-/Aussteiger aller IRE aus Richtung Basel (oben) / in Richtung Basel (unten) 9
Abbildung 8 VT 641 und VT 611 in Basel Bad Bf 11
Abbildung 9 Referenzfahrzeug RABe 521 in Basel Bad Bf 12
Abbildung 10 Verhältnis zwischen Knoten und Fahrzeiten zwischen Basel und Singen 15
Abbildung 11 Abhängigkeit zwischen RB, IRE und den Zugfolgezeiten zwischen Erzingen und Schaffhausen 18
Abbildung 12 Busknoten Wilchingen-Hallau 19
Abbildung 13 Gleistopologie Erzingen nach dem Umbau 29
Abbildung 14 Topologie Bahnhof Schaffhausen (zusätzliche Infrastruktur rot) 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Variantenübersicht 23
Tabelle 2 Überblick Varianten Vorstufe 28

Fahrzeitrechnungen 1

Bezugsfall 2

Variante 1 3

Variante 2 4

Variante 3 5

Variantenvergleich 6

Zielkonzept 7

Zielkonzept+ 8

Vorstufe zum Zielkonzept 9

Umläufe und Fahrzeugbedarf 10

Anhang 1.1: Fahrschaubild IRE Basel – Singen VT 611
Anhang 1.2: Fahrschaubild IRE Basel – Singen FLIRT
Anhang 1.3: Fahrschaubild IRE Singen – Basel VT611
Anhang 1.4: Fahrschaubild IRE Singen – Basel FLIRT
Anhang 1.5: Fahrschaubild RB Basel – Waldshut – Erzingen FLIRT
Anhang 1.6: Fahrschaubild RB Erzingen- Waldshut – Basel FLIRT
Anhang 1.7: Fahrschaubild IRE Friedrichshafen – Singen VT611
Anhang 1.8: Fahrschaubild IRE Friedrichshafen – Singen FLIRT
Anhang 1.9: Fahrschaubild IRE Singen – Friedrichshafen VT611
Anhang 1.10: Fahrschaubild IRE Singen – Friedrichshafen FLIRT
Anhang 1.11: Fahrschaubild RB Friedrichshafen – Singen FLIRT
Anhang 1.12: Fahrschaubild RB Singen – Friedrichshafen FLIRT

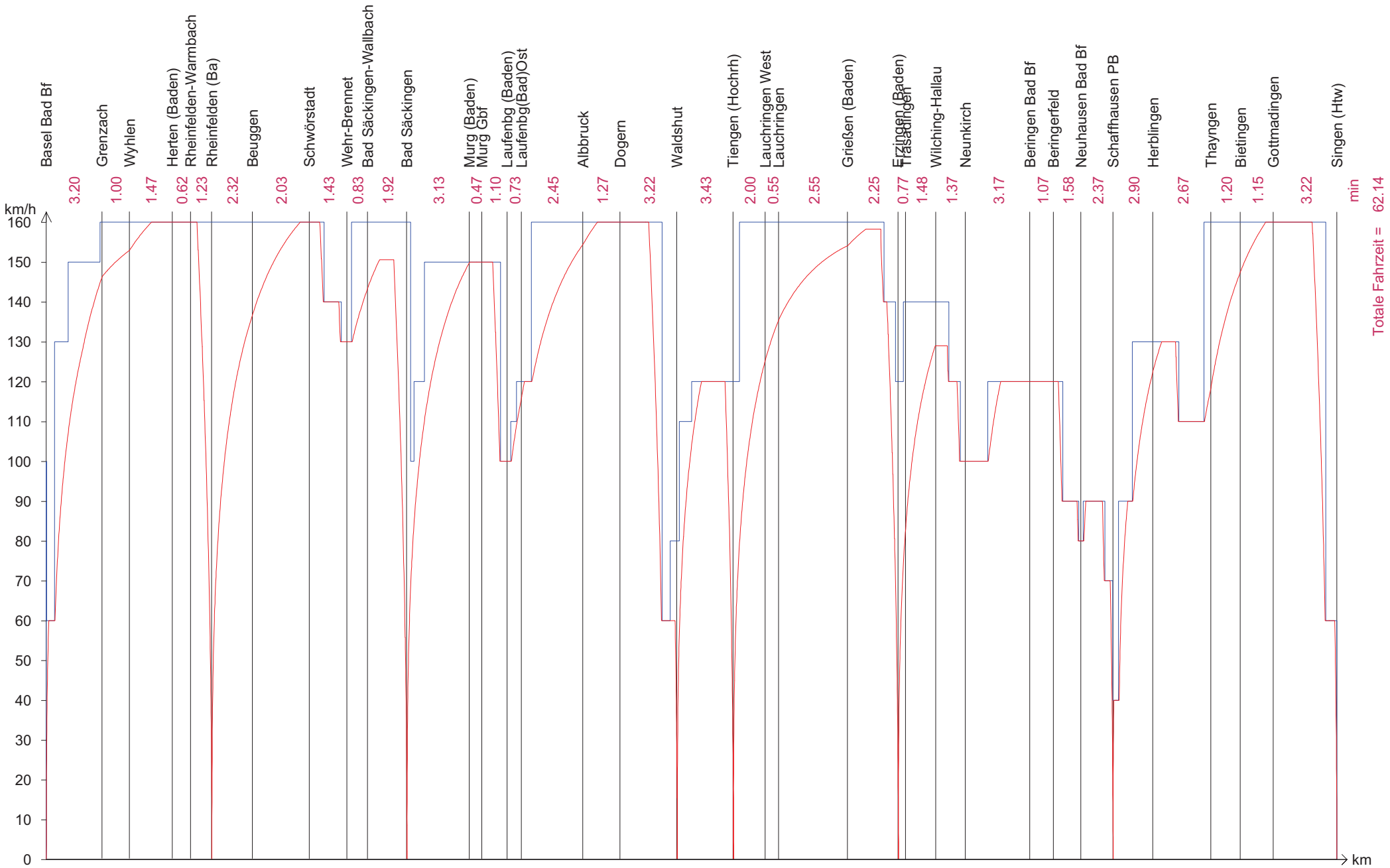
SMA und Partner AG

Fahrplanentwurf

Fz IRE Basel Bad Bf - Singen VT611

Anhang 1.1

Tfz: 611-101|611-101, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 104, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 217%, Fz-Zuschlag = 3%



sma

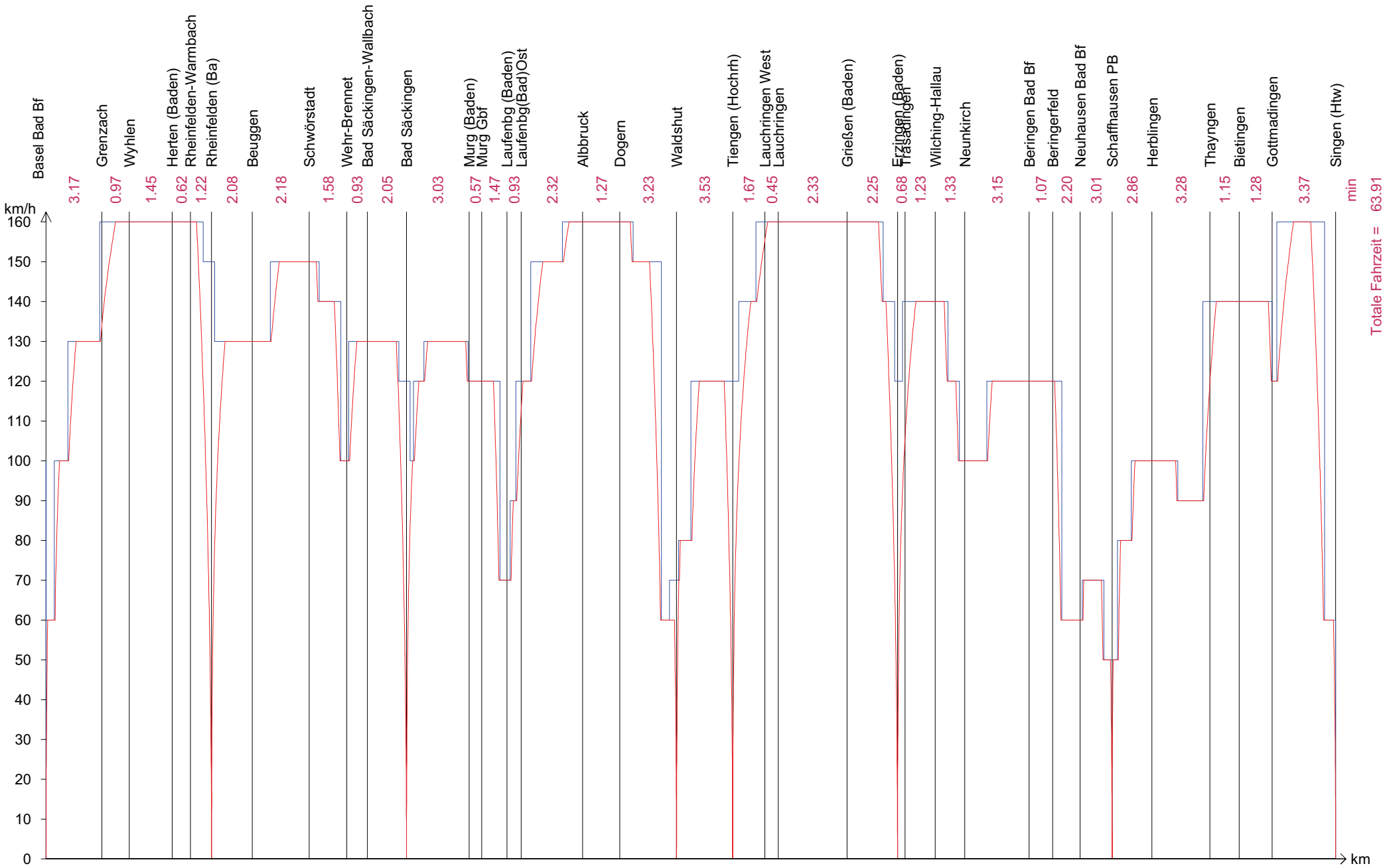
Stand: 23.02.2009

sma+viriato

Fz IRE Basel Bad Bf - Singen FLIRT

Anhang 1.2

Tfz:RABe523-0|RABe523-0,160km/h,Anhängelast:0,Gesamtlänge:148,Bremse:R+Mg,Bremsverhältnis=230%,Fz-Zuschlag=3%



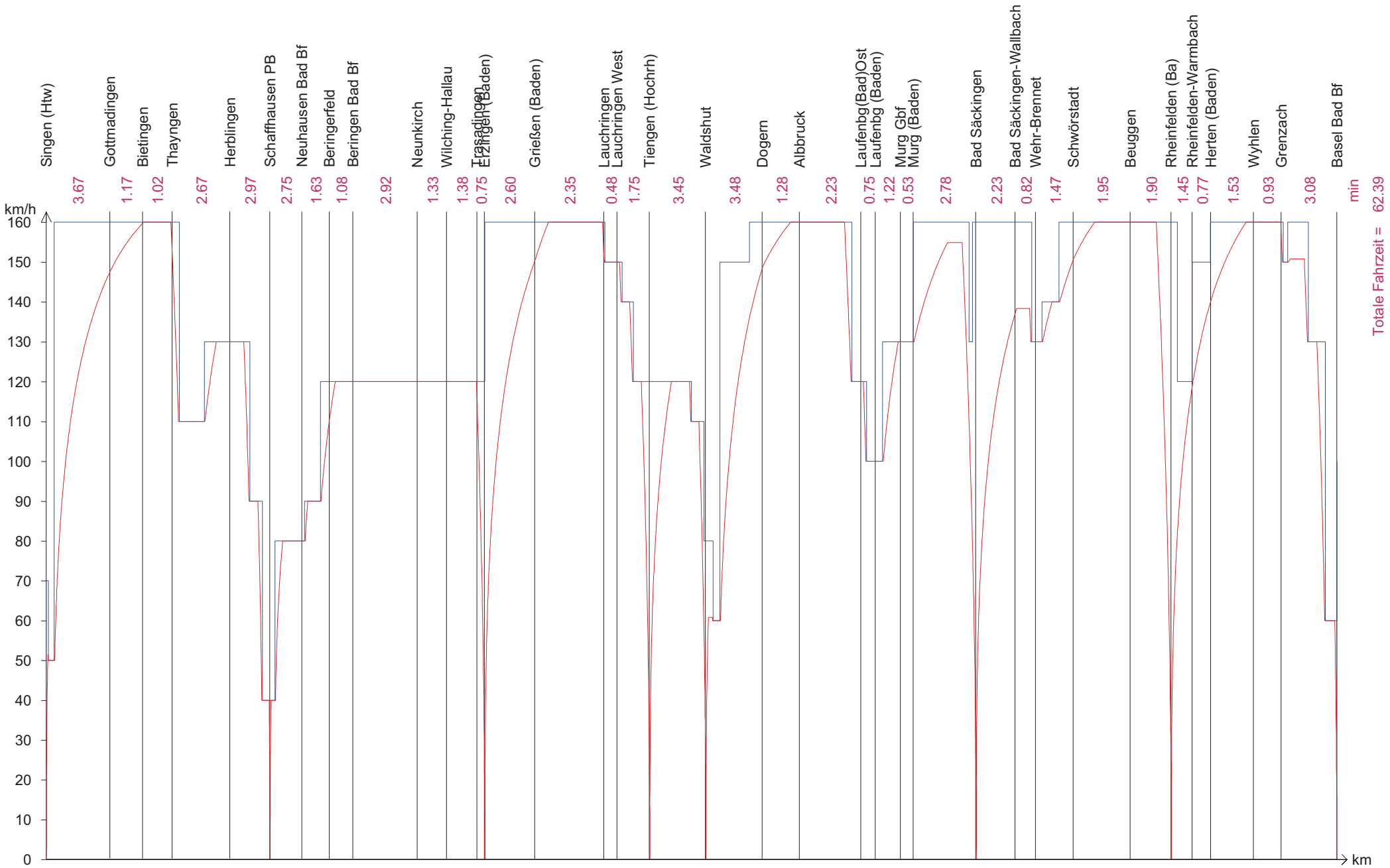
SMA und Partner AG

Fahrplanentwurf

Fz IRE Singen - Basel Bad Bf VT611

Anhang 1.3

Tfz: 611-101|611-101, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 104, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 217%, Fz-Zuschlag = 3%



sma

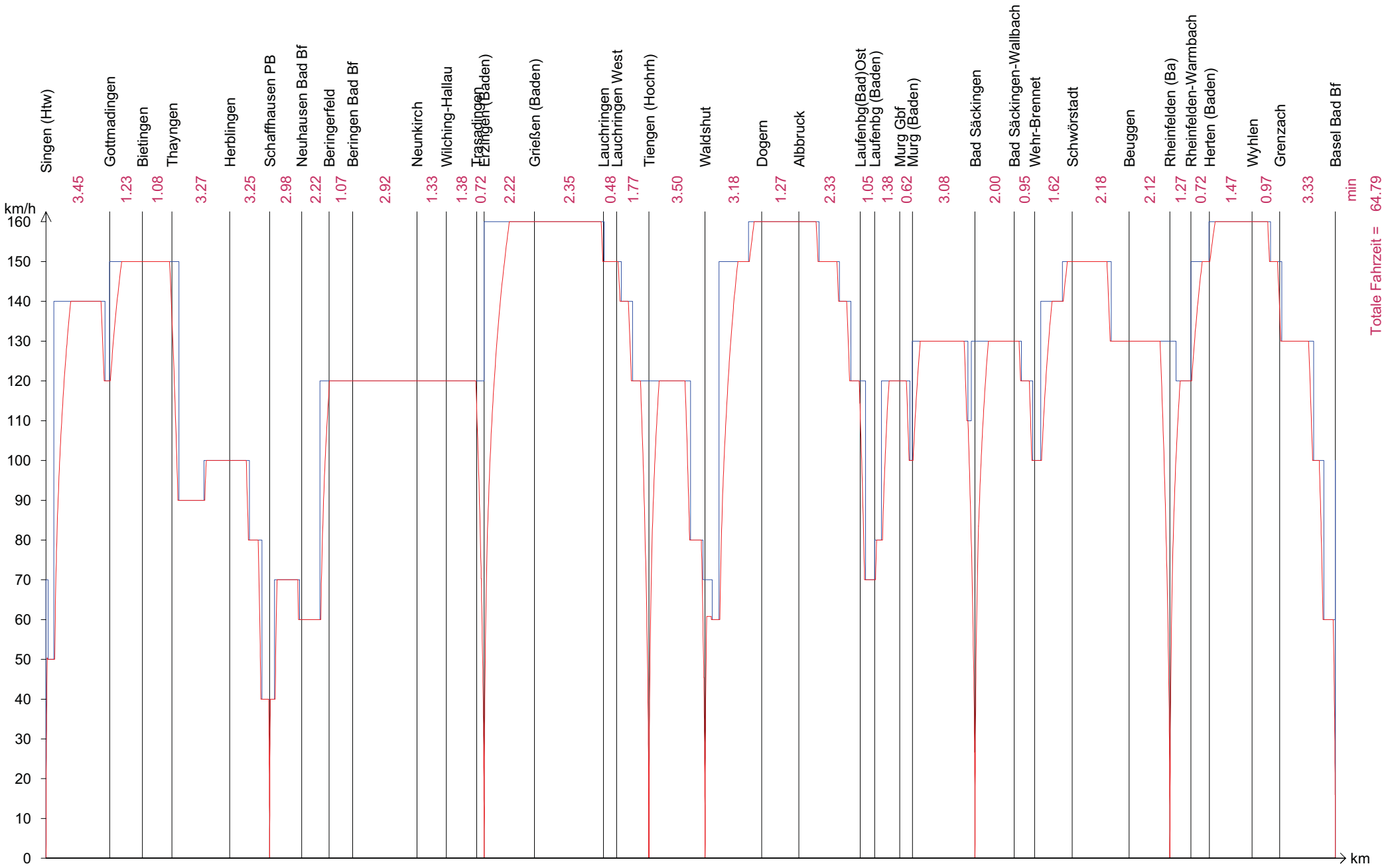
Stand: 23.02.2009

sma+viriato

Fz IRE Singen - Basel Bad Bf FLIRT

Anhang 1.4

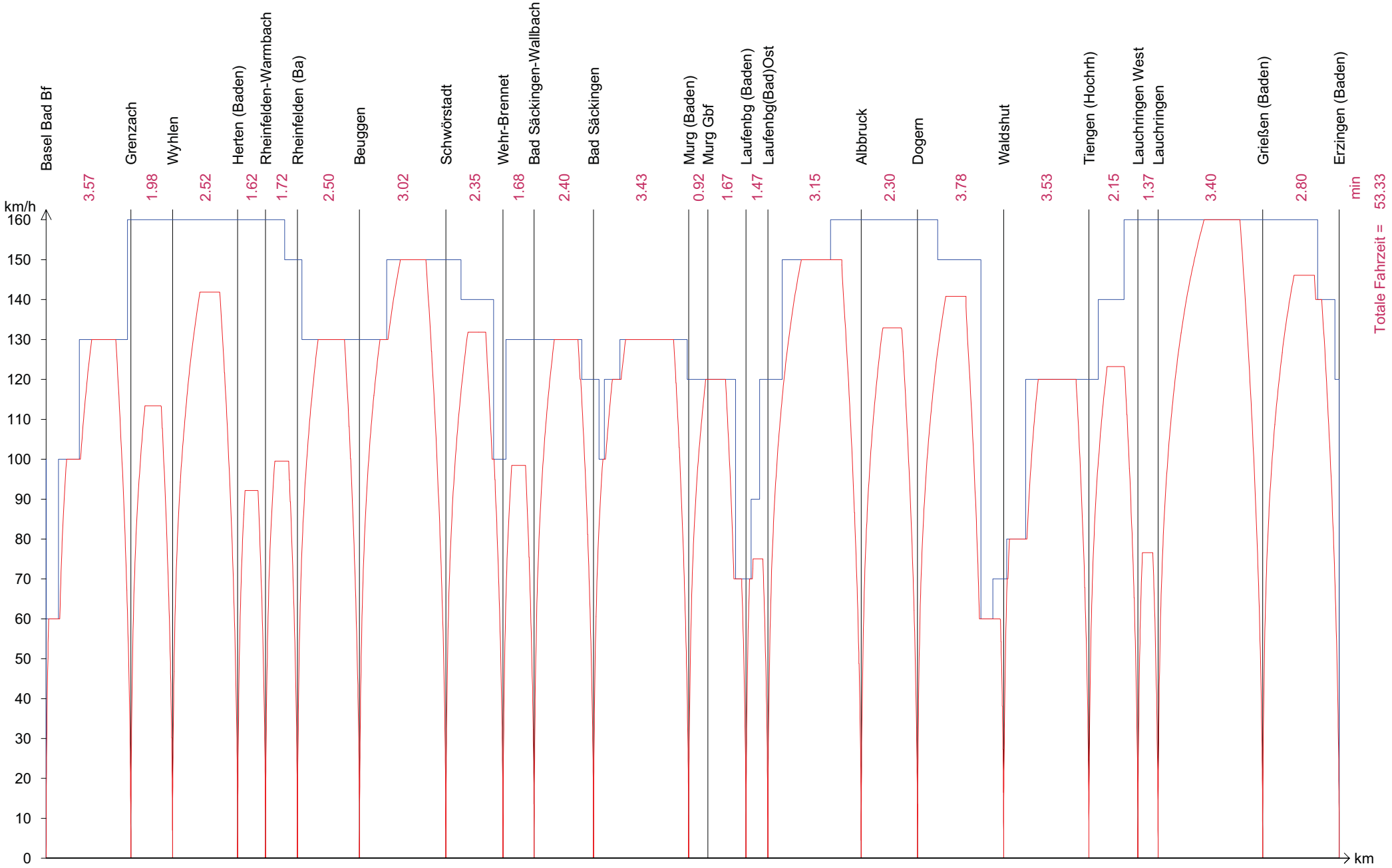
Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



Fz RB Basel Bad Bf - Waldshut - Erzingen FLIRT

Anhang 1.5

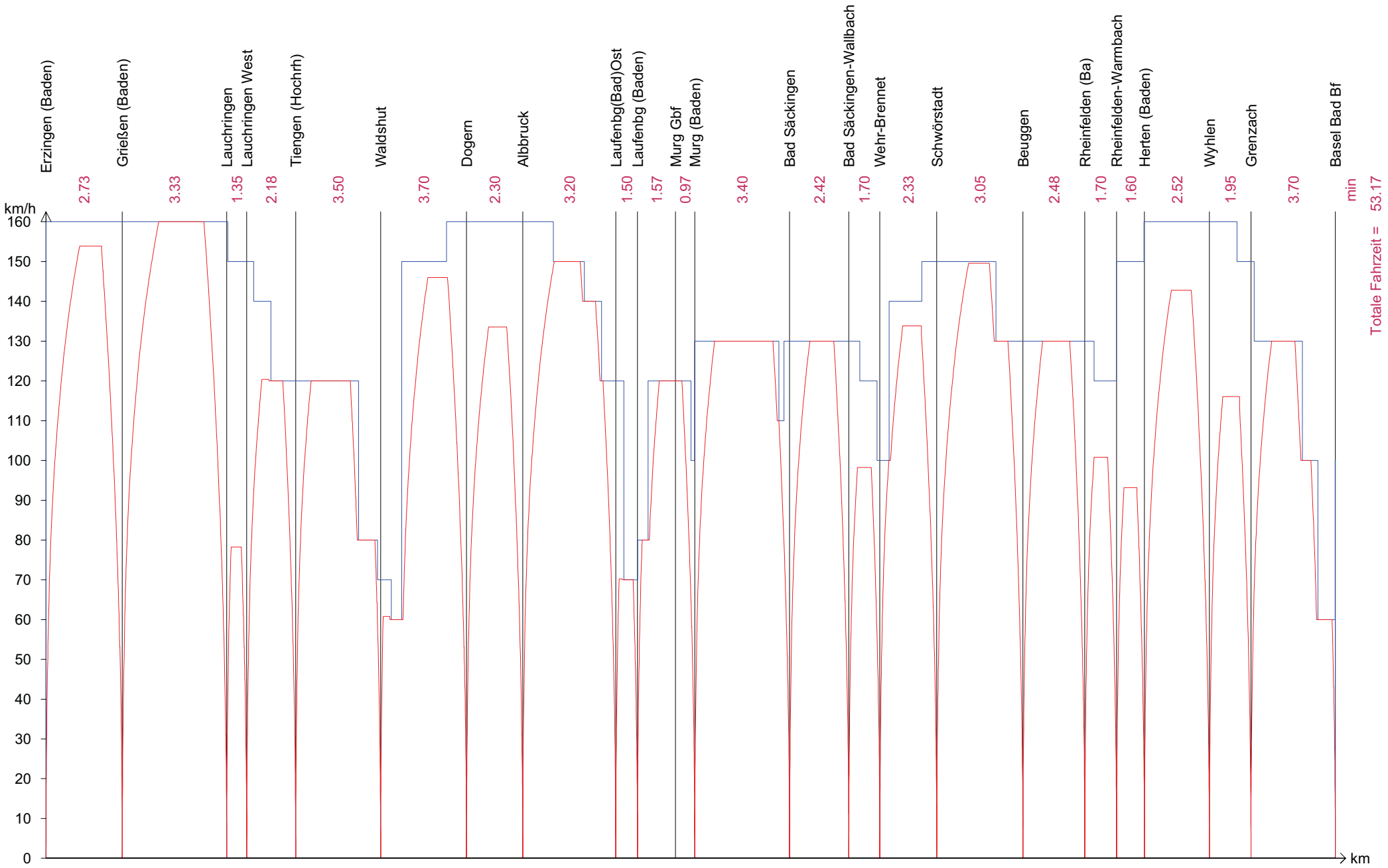
Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



Fz RB Erzingen - Waldshut - Basel Bad Bf FLIRT

Anhang 1.6

Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



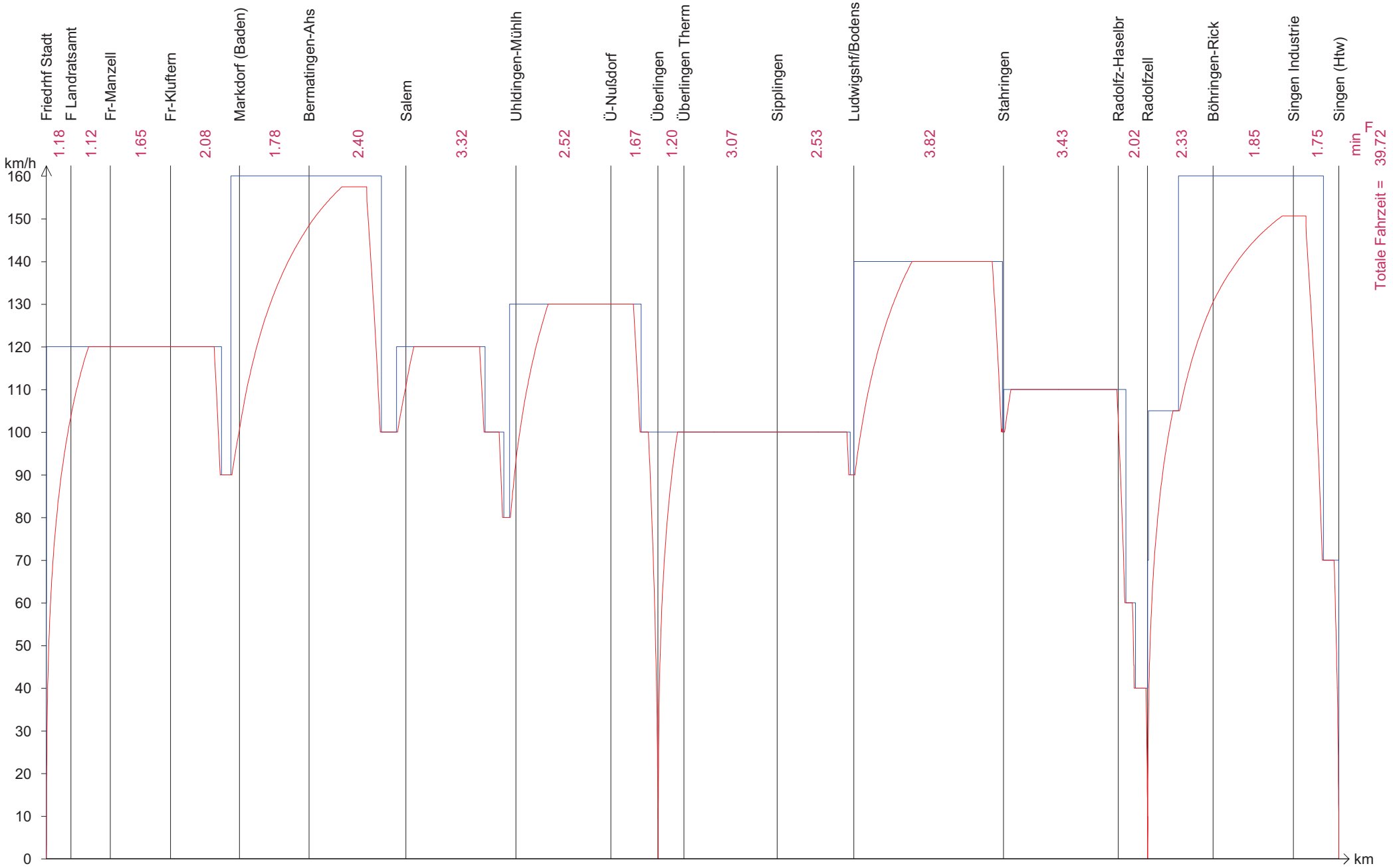
SMA und Partner AG

Fahrplanentwurf

Fz IRE Friedrichshafen Stadt - Singen VT611

Anhang 1.7

Tfz: 611-101|611-101, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 104, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 217%, Fz-Zuschlag = 3%



sma

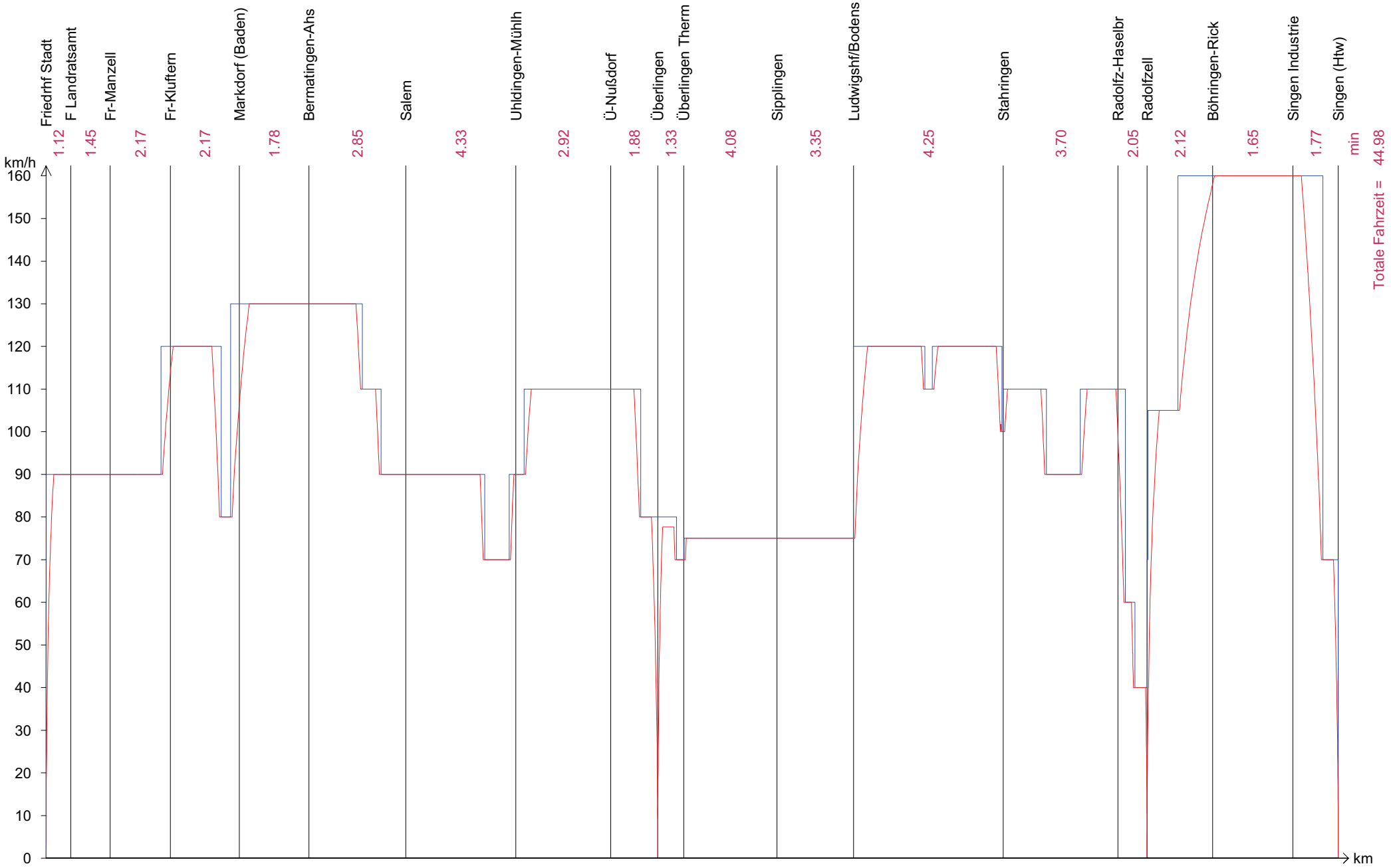
Stand: 08.03.2009

sma+viriato

Fz IRE Friedrichshafen Stadt - Singen FLIRT

Anhang 1.8

Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Gewicht Wz: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Vorh. BrH = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



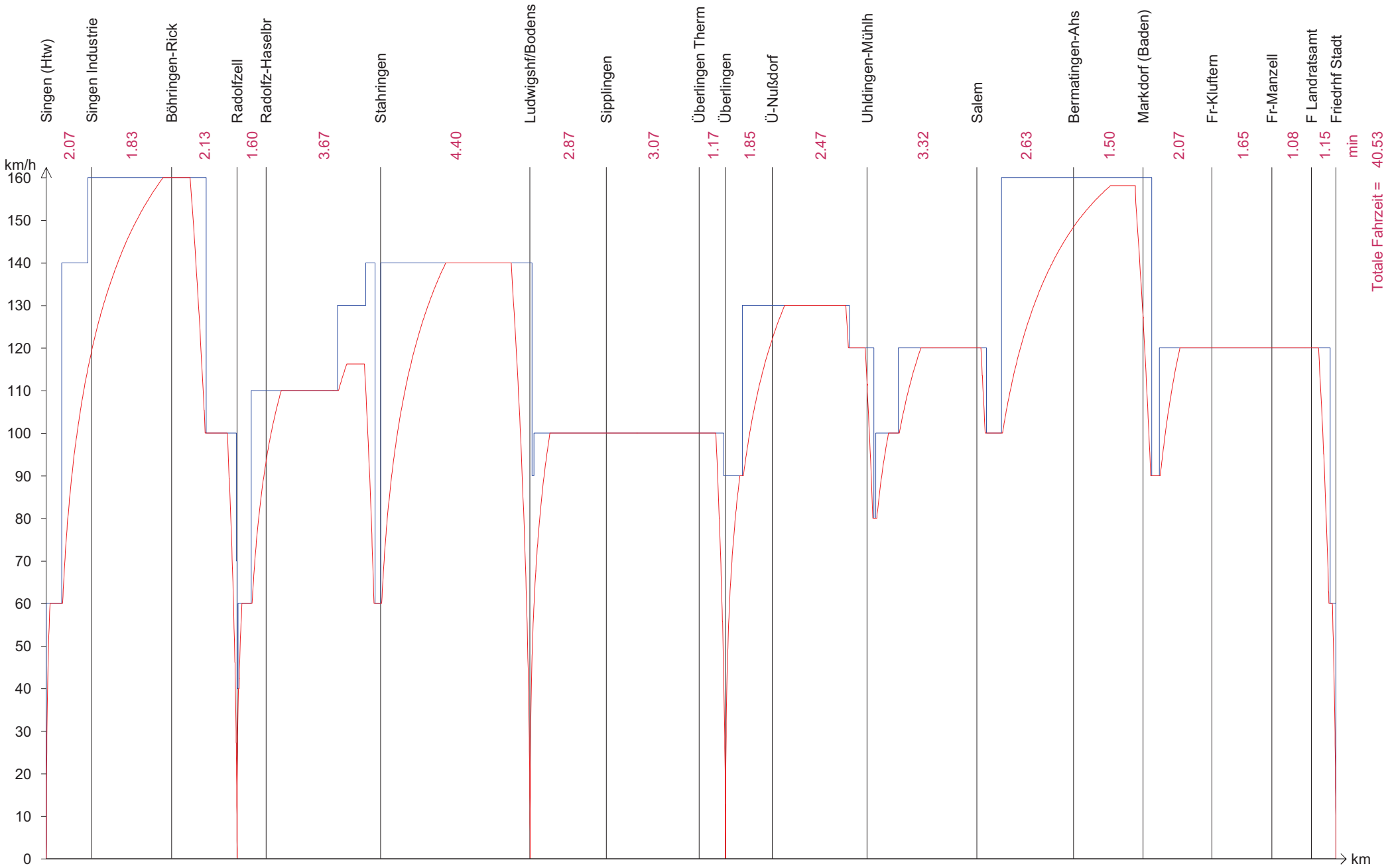
SMA und Partner AG

Fahrplanentwurf

Fz IRE Singen - Friedrichshafen Stadt VT611

Anhang 1.9

Tfz: 611-101|611-101, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 104, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 217%, Fz-Zuschlag = 3%



sma

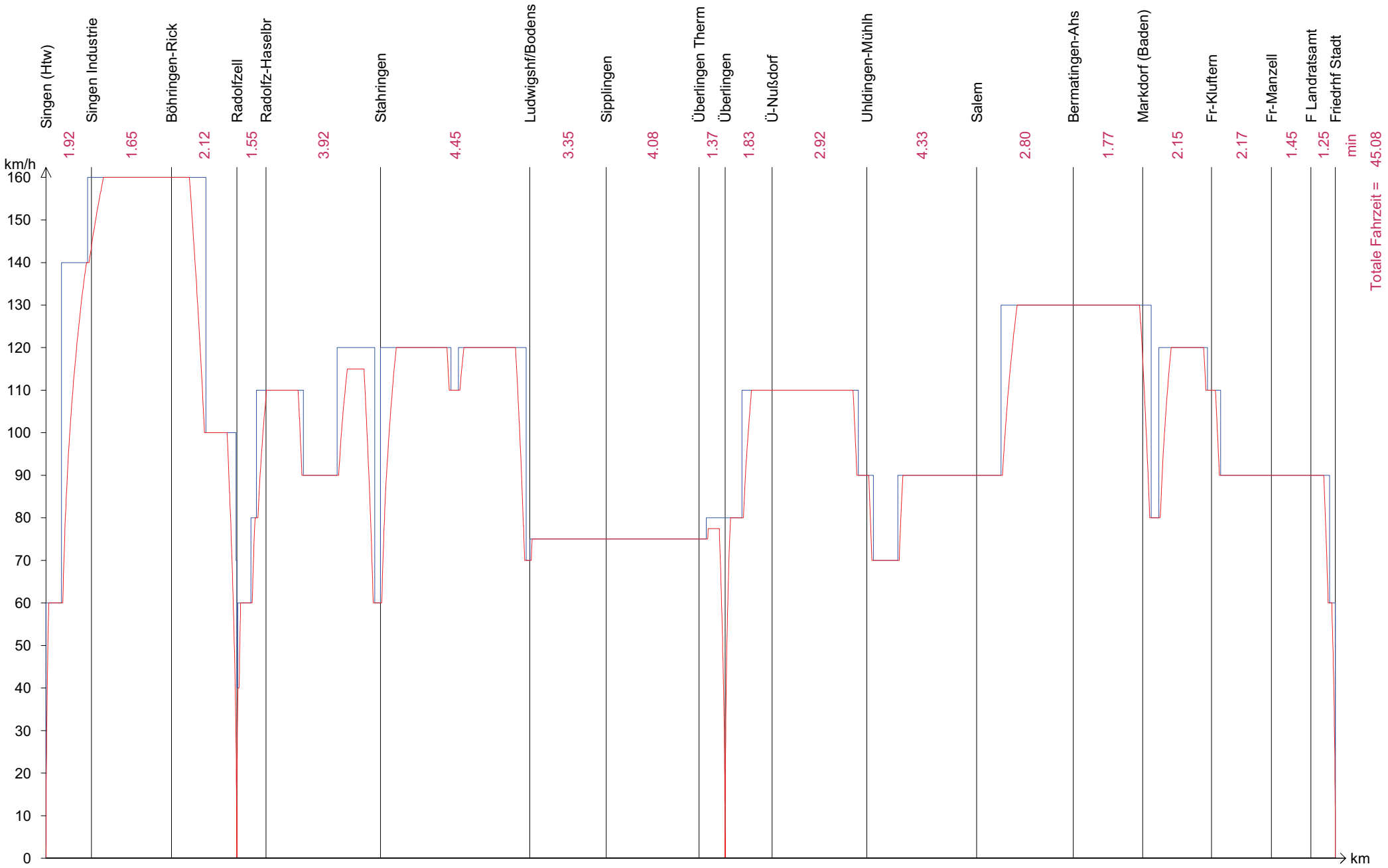
Stand: 08.03.2009

sma+viriato

Fz IRE Singen - Friedrichshafen Stadt FLIRT

Anhang 1.10

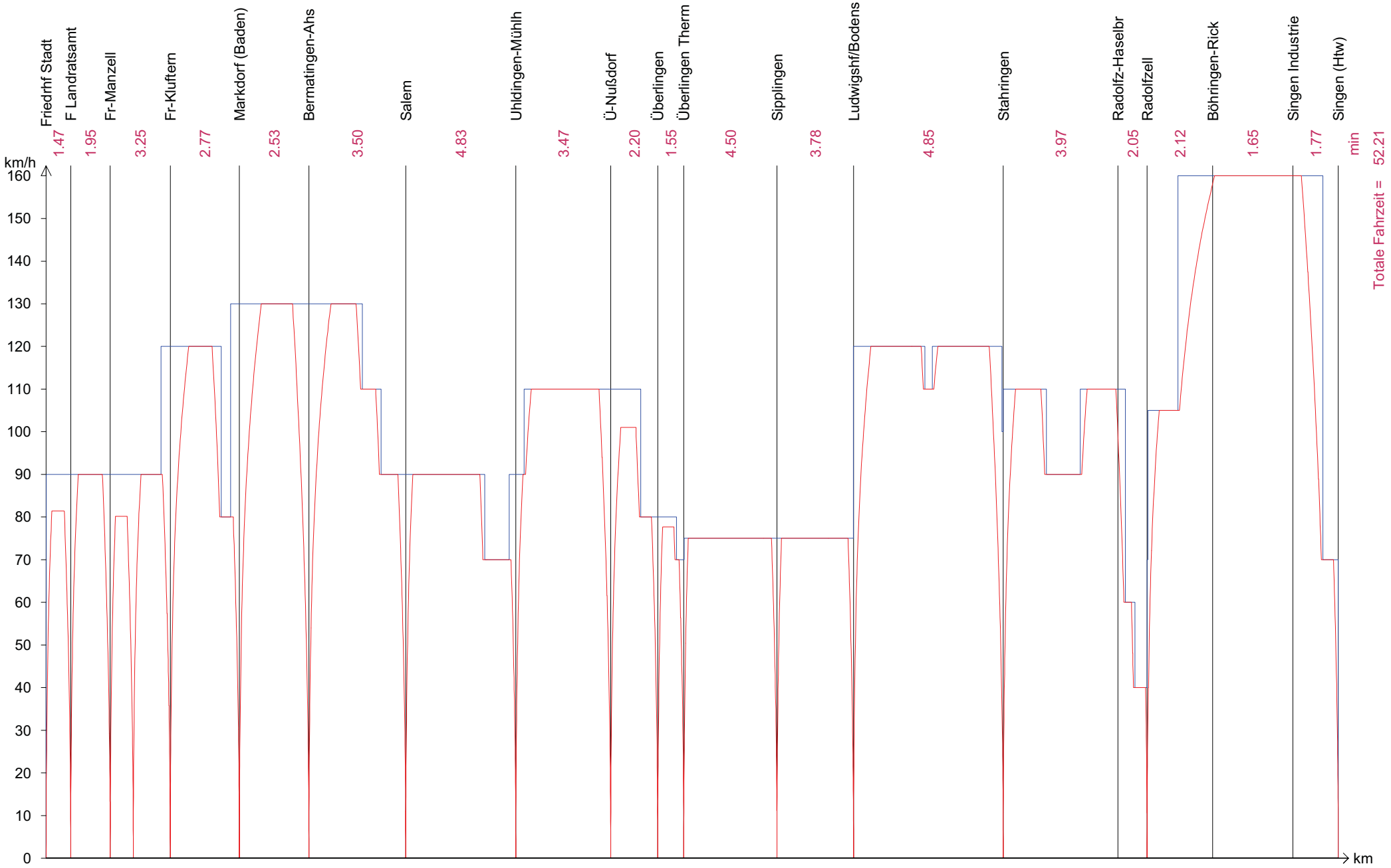
Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Gewicht Wz: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Vorh. BrH = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



Fz RB Friedrichshafen Stadt - Singen FLIRT

Anhang 1.11

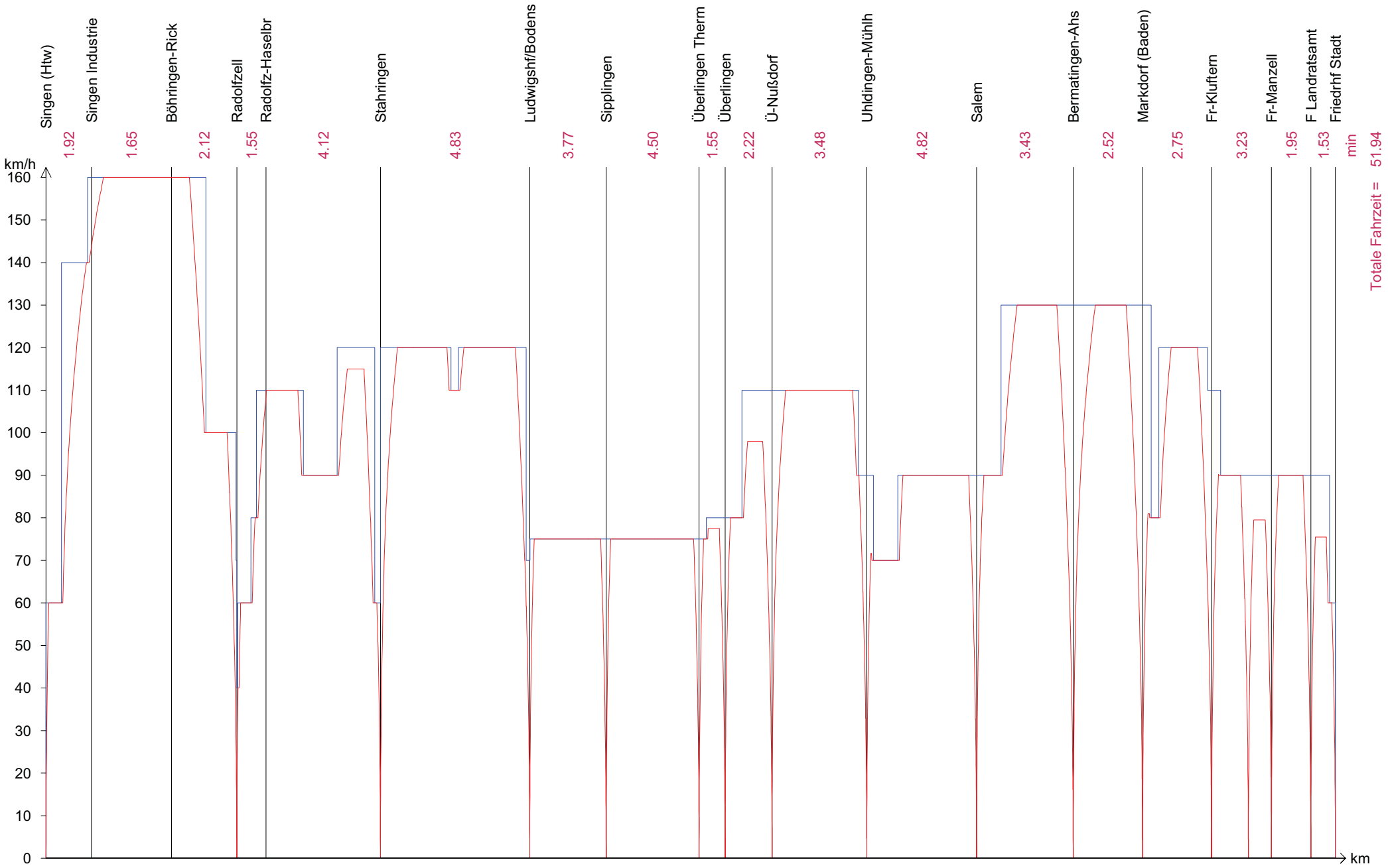
Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



Fz RB Singen - Friedrichshafen Stadt FLIRT

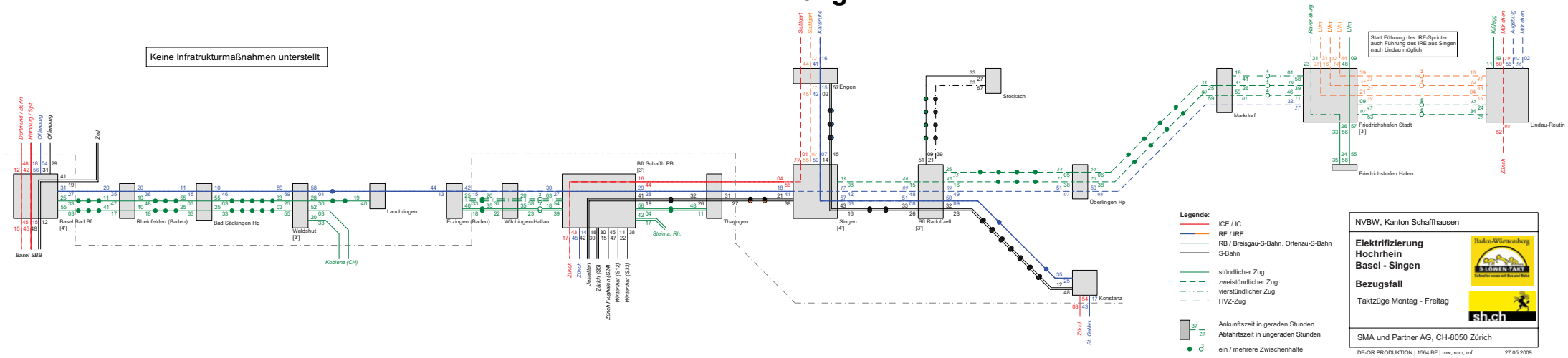
Anhang 1.12

Tfz: RABe523-0|RABe523-0, 160 km/h, Anhängelast: 0, Gesamtlänge: 148, Bremse: R+Mg, Bremsverhältnis = 230%, Fz-Zuschlag = 3%



Anhang 2.1

Keine Infratrukturmaßnahmen unterstellt



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden
- Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Bezugsfall

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

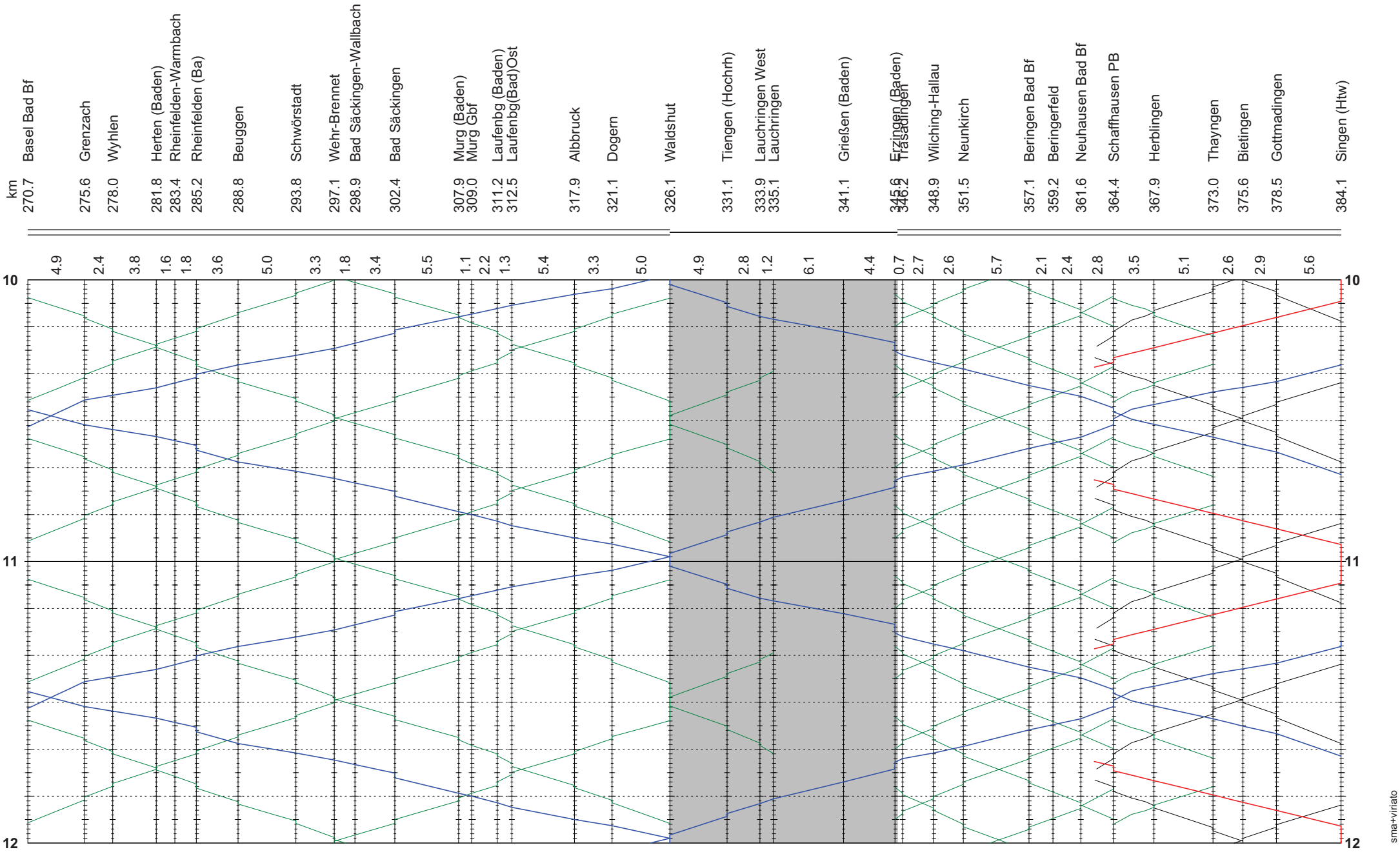
DE-OR PRODUKTION | 1564 BF | mw, mm, mf 27.05.2009

Anhang 2.2

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Bezugsfall

730: Basel - Waldshut - Schaffhausen - Singen (Hochrheinstrecke)

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma+viriato

SMA und Partner AG

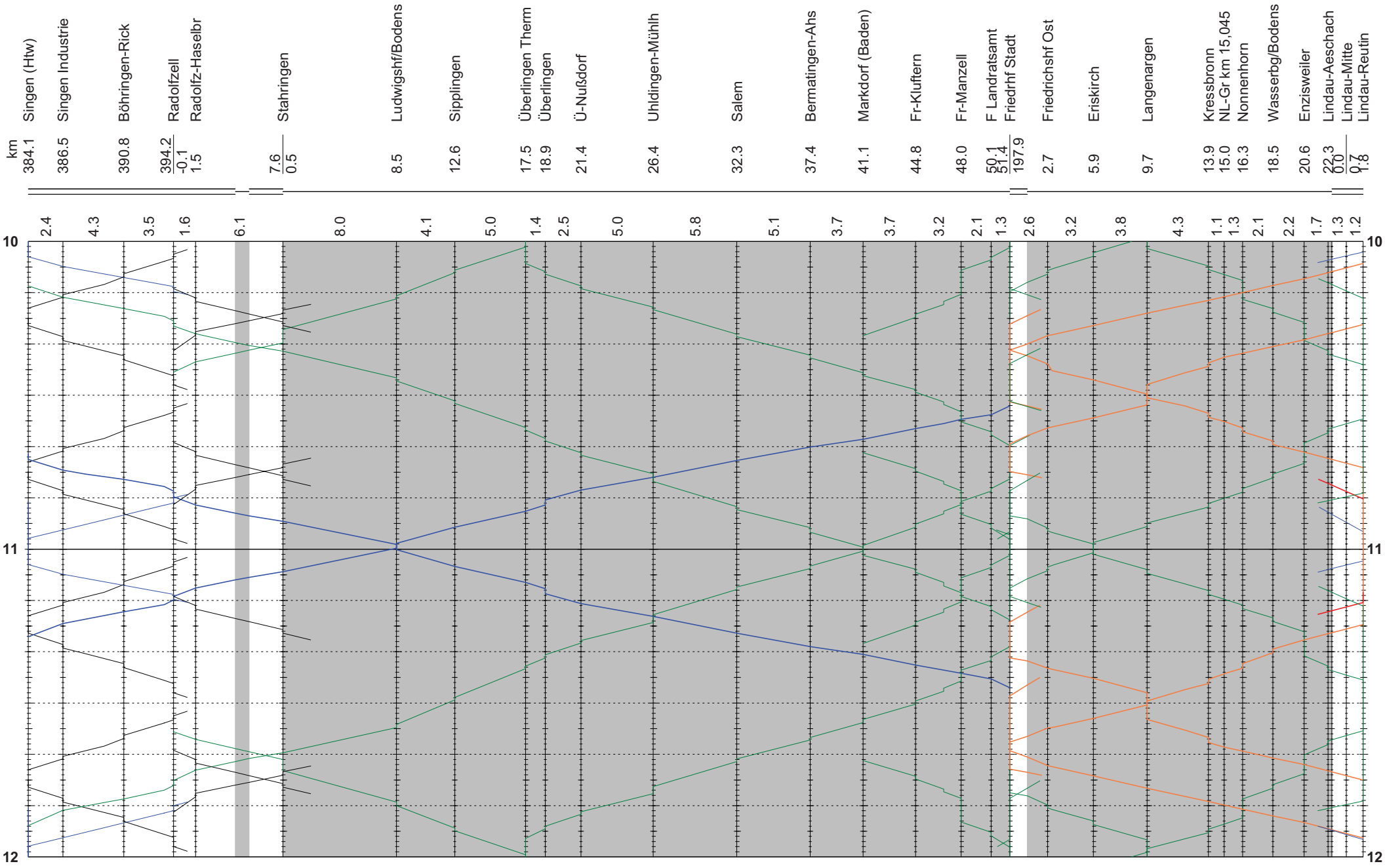
731: Singen - Radolfzell - Friedrichshafen - Lindau

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

Anhang 2.3

Fahrplanentwurf

Elektrifizierung Hochrhein, Bezugsfall

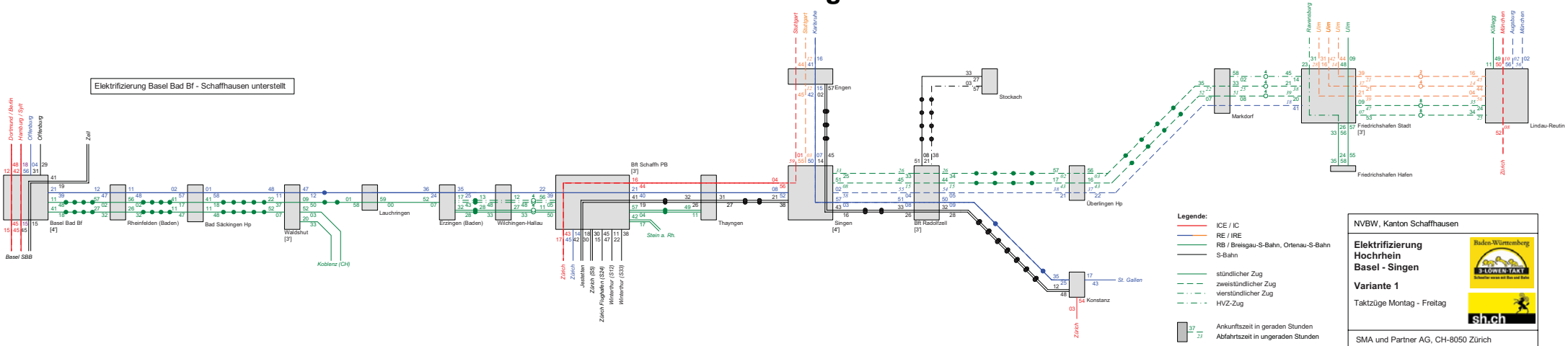


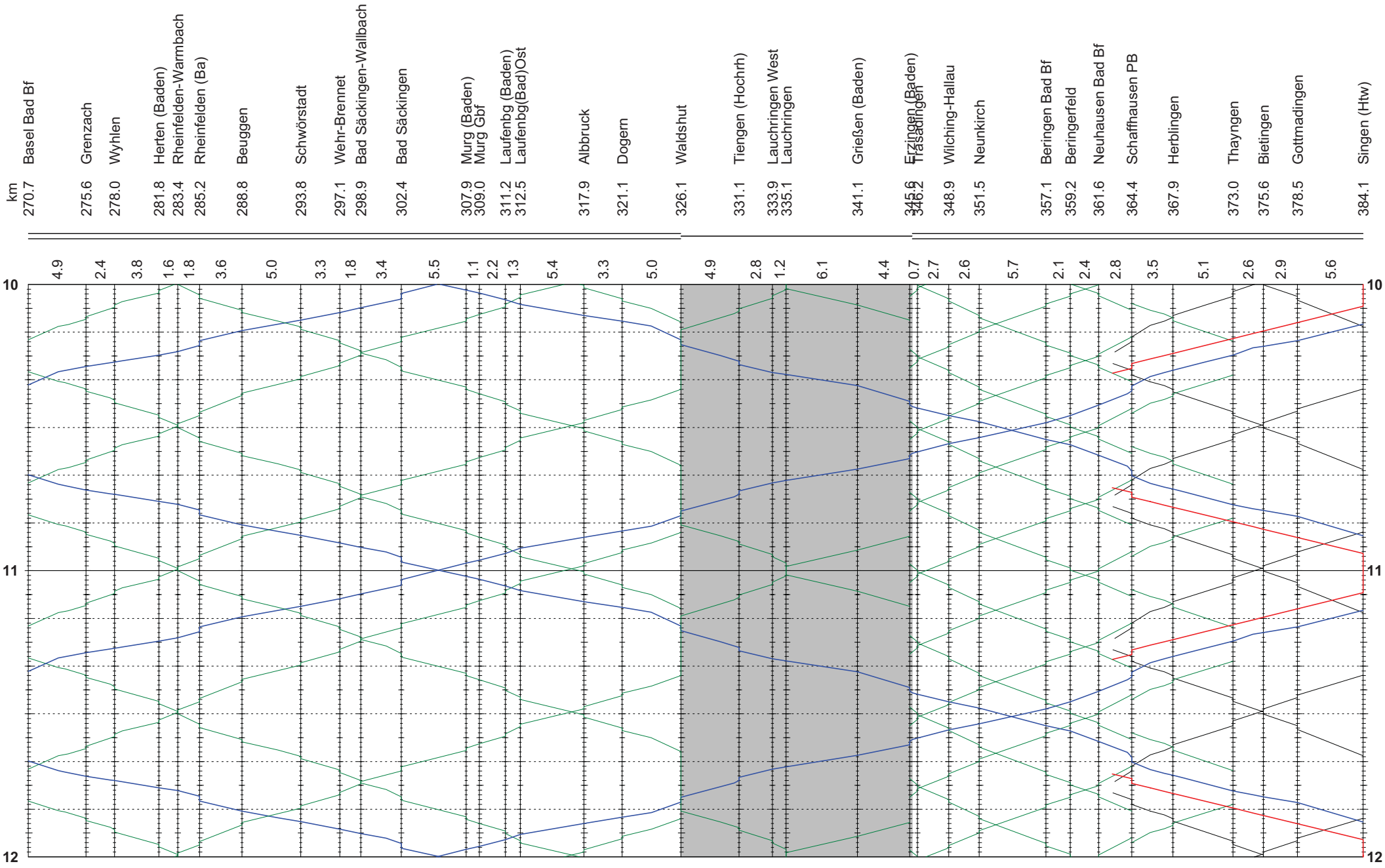
sma

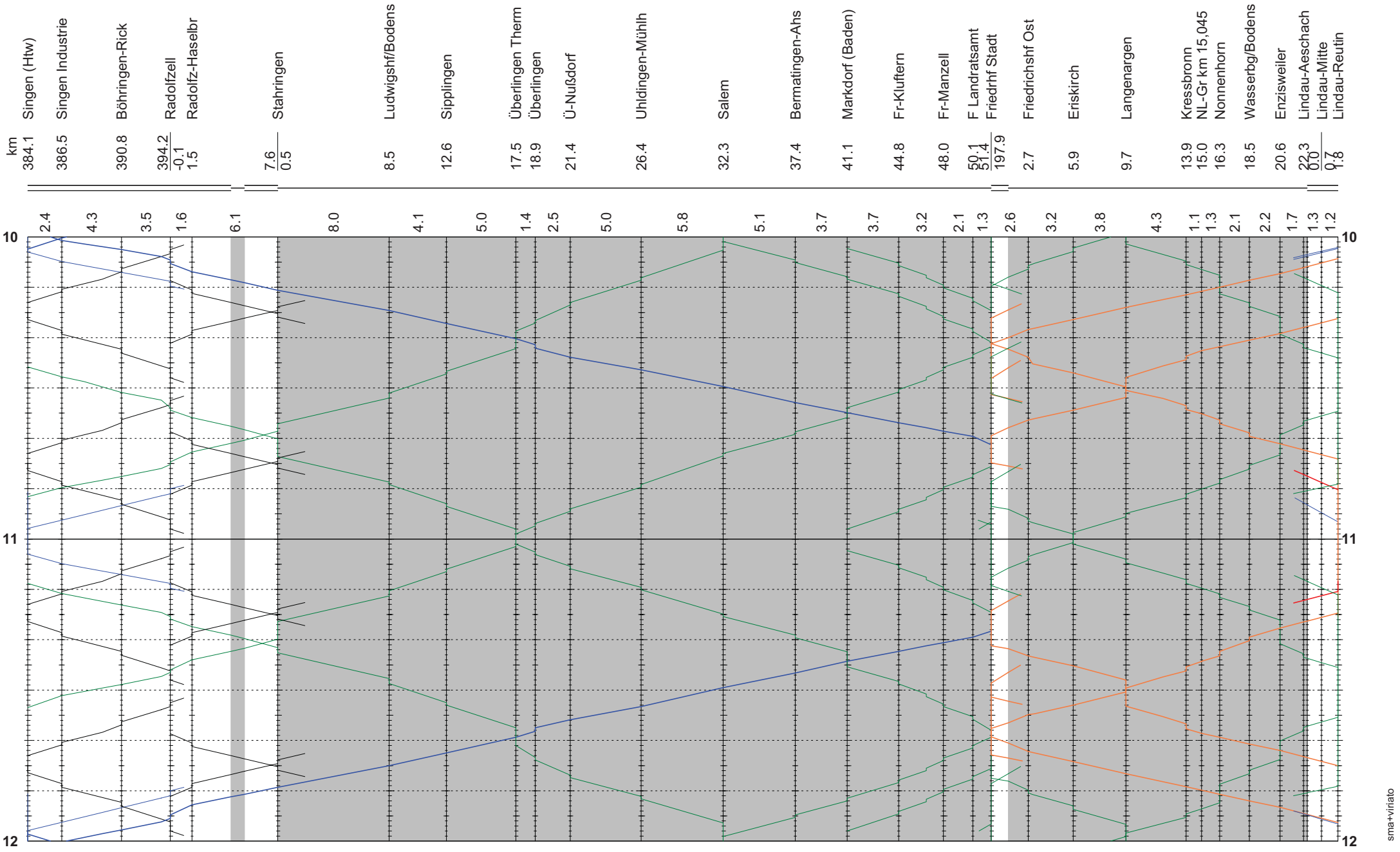
sma+viriato

Stand: 21.08.2009

Anhang 3.1

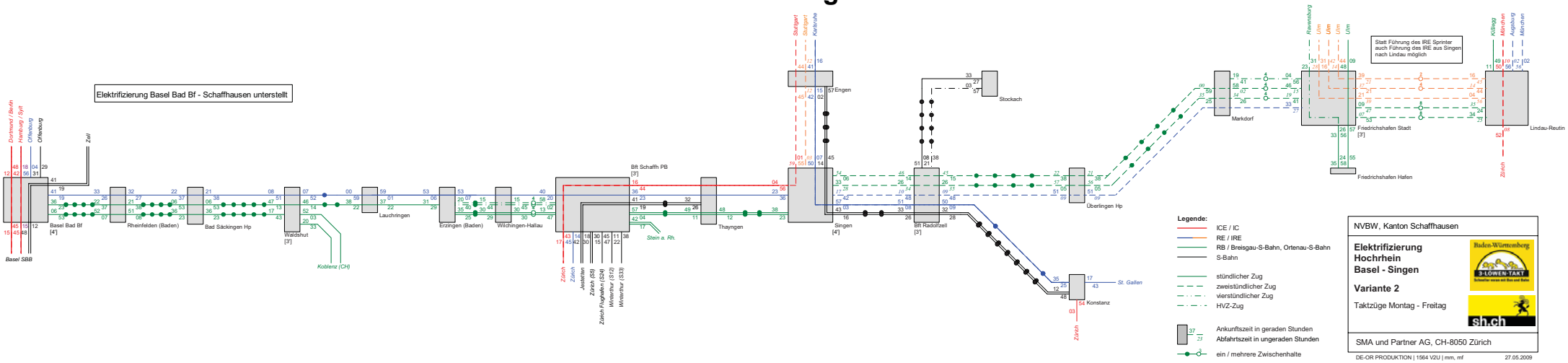

Elektrifizierung Basel Bad Bf - Schaffhausen unterstellt
Dortmund / Berlin
Hamburg / Sylt
Offenburg
Offenburg
Zell
Basel SBB
Basel Bad Bf
[4]
Rheinfelden (Baden)
Bad Säckingen Hp
Waldshut
[3]
Koblenz (CH)
Lauchringen
Erzingen (Baden)
Wilchingen-Hallau
Bft Schaffh PB
[3]
Zürich
Zürich
Jestetten
Zürich (S5)
Zürich Flughafen (S24)
Winterthur (S12)
Winterthur (S33)
Stein a. Rh.
Thayngen
Stuttgart
Stuttgart
Karlsruhe
Engen
Singen
[4]
Stockach
Bft Radolfzell
[3]
Überlingen Hp
Markdorf
Ravensburg
Ulm
Ulm
Ulm
Friedrichshafen Stadt
[3]
Friedrichshafen Hafen
Kißlegg
München
Augsburg
München
Lindau-Reutin
Zürich
St. Gallen
Konstanz
Zürich
Legende:
ICE / IC
RE / IRE
RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
S-Bahn
stündlicher Zug
zweistündlicher Zug
vierstündlicher Zug
HVZ-Zug
Ankunftszeit in geraden Stunden
Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
ein / mehrere Zwischenhalte
NVBW, Kanton Schaffhausen
Elektrifizierung
Hochrhein
Basel - Singen
Variante 1
Taktzüge Montag - Freitag
Baden-Württemberg
3-LÖWEN-TAKT
sh.ch
SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich
DE-OR PRODUKTION | 1564 V1U | mm, mf
27.05.2009


km
270.7 Basel Bad Bf
275.6 Grenzach
278.0 Wyhlen
281.8 Herten (Baden)
283.4 Rheinfelden-Warmbach
285.2 Rheinfelden (Ba)
288.8 Beuggen
293.8 Schwörstadt
297.1 Wehr-Brennet
298.9 Bad Säckingen-Wallbach
302.4 Bad Säckingen
307.9 Murg (Baden)
309.0 Murg Gbf
311.2 Laufenbg (Baden)
312.5 Laufenbg(Bad)Ost
317.9 Albbruck
321.1 Dogern
326.1 Waldshut
331.1 Tiengen (Hochrh)
333.9 Lauchringen West
335.1 Lauchringen
341.1 Grießen (Baden)
345.6 Erzingen (Baden)
346.2 Trasadingen
348.9 Wilching-Hallau
351.5 Neunkirch
357.1 Beringen Bad Bf
359.2 Beringerfeld
361.6 Neuhausen Bad Bf
364.4 Schaffhausen PB
367.9 Herblingen
373.0 Thayngen
375.6 Bietingen
378.5 Gottmadingen
384.1 Singen (Htw)
10
11
12


km
Singen (Htw) 384.1
Singen Industrie 386.5
Böhringen-Rick 390.8
Radolfzell 394.2
Radolfz-Haselbr -0.1 1.5
Stahringen 7.6 0.5
Ludwigshf/Bodens 8.5
Sipplingen 12.6
Überlingen Therm 17.5
Überlingen 18.9
Ü-Nußdorf 21.4
Uhldingen-Mühlh 26.4
Salem 32.3
Bermatingen-Ahs 37.4
Markdorf (Baden) 41.1
Fr-Kluftern 44.8
Fr-Manzell 48.0
F Landratsamt 50.1
Friedrhf Stadt 51.4 197.9
Friedrichshf Ost 2.7
Eriskirch 5.9
Langenargen 9.7
Kressbronn 13.9
NL-Gr km 15,045 15.0
Nonnenhorn 16.3
Wasserbg/Bodens 18.5
Enzisweiler 20.6
Lindau-Aeschach 22.3
Lindau-Mitte 0.0 0.7
Lindau-Reutin 1.8
2.4 4.3 3.5 1.6 6.1 8.0 4.1 5.0 1.4 2.5 5.0 5.8 5.1 3.7 3.7 3.2 2.1 1.3 2.6 3.2 3.8 4.3 1.1 1.3 2.1 2.2 1.7 1.3 1.2
10
11
12

sma+viriato

Anhang 4.1



NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Variante 2

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V2U | mm, mf 27.05.2009

SMA und Partner AG

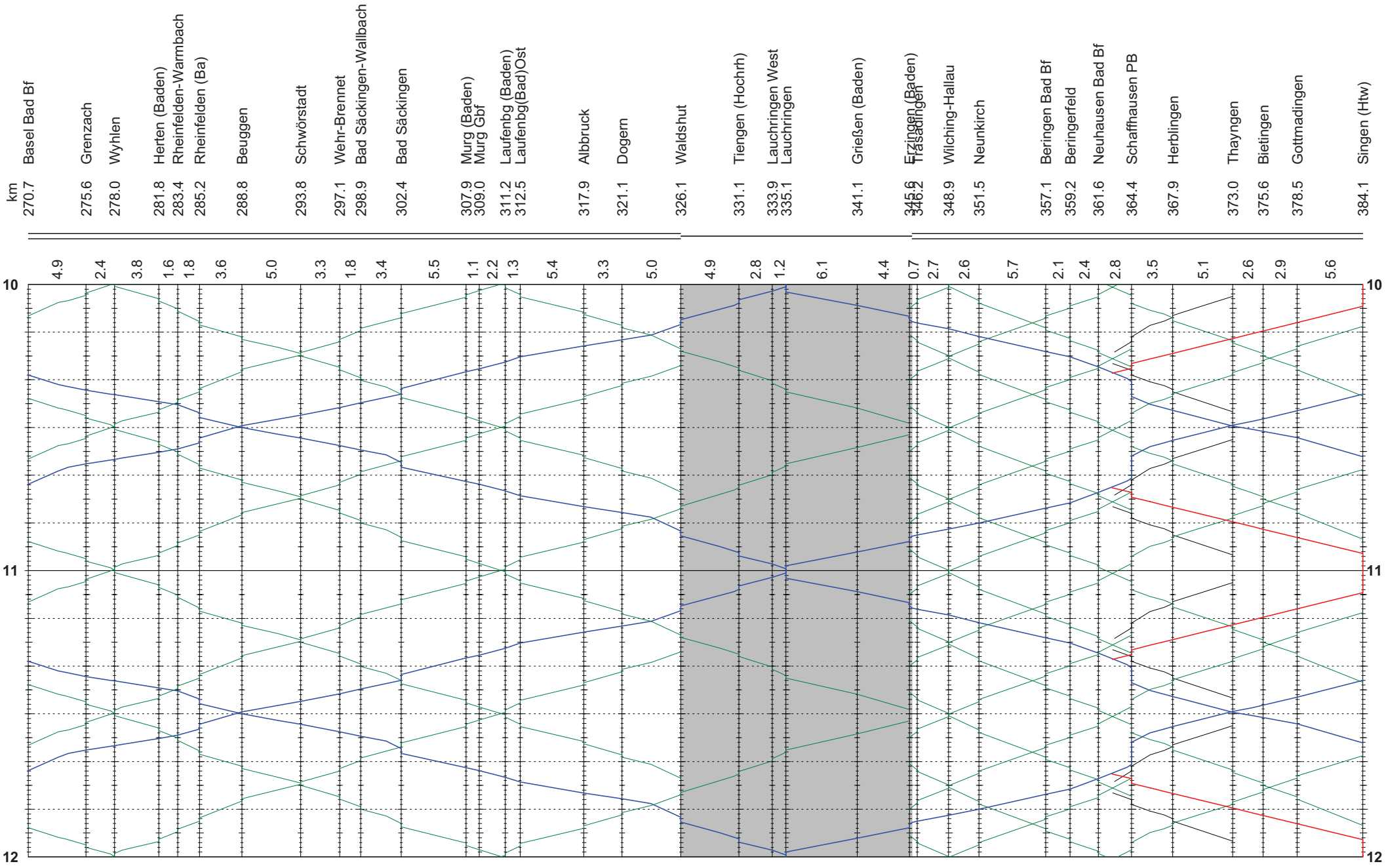
730: Basel - Waldshut - Schaffhausen - Singen (Hochrheinstrecke)

Timetable Period: All, Day(s): <all>, Day Type: <all>

Anhang 4.2

Fahrplanentwurf

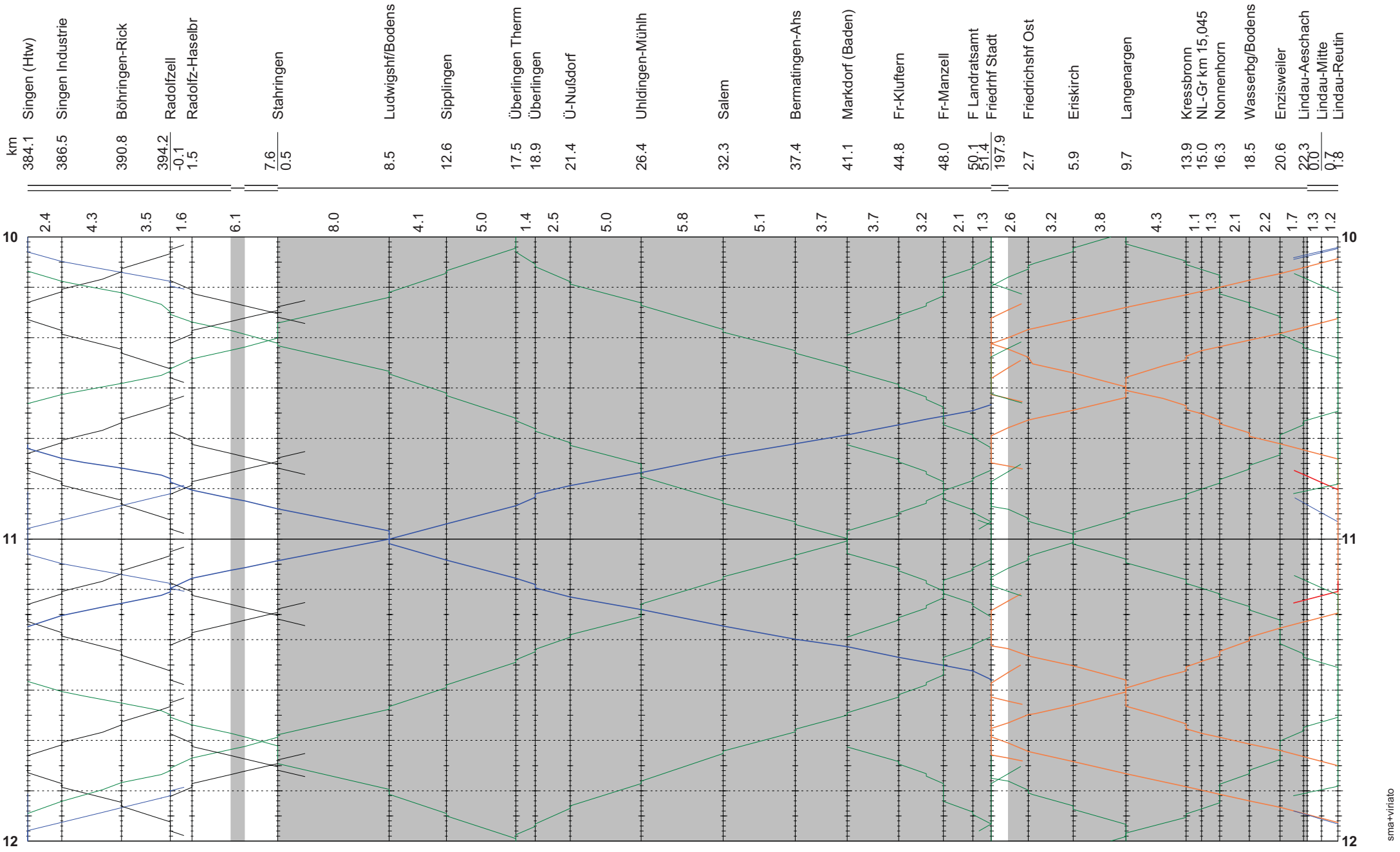
Elektrifizierung Hochrhein, Variante 2



sma

Stand: 18.11.2009

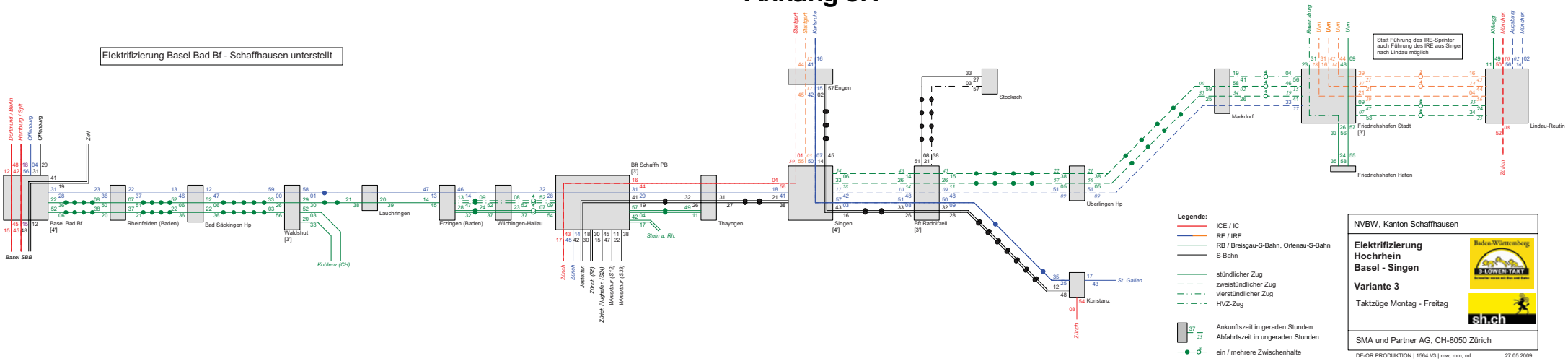
sma+viriato



sma

sma+viriato

Anhang 5.1



NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Variante 3

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3 | mw, mm, mf 27.05.2009

SMA und Partner AG

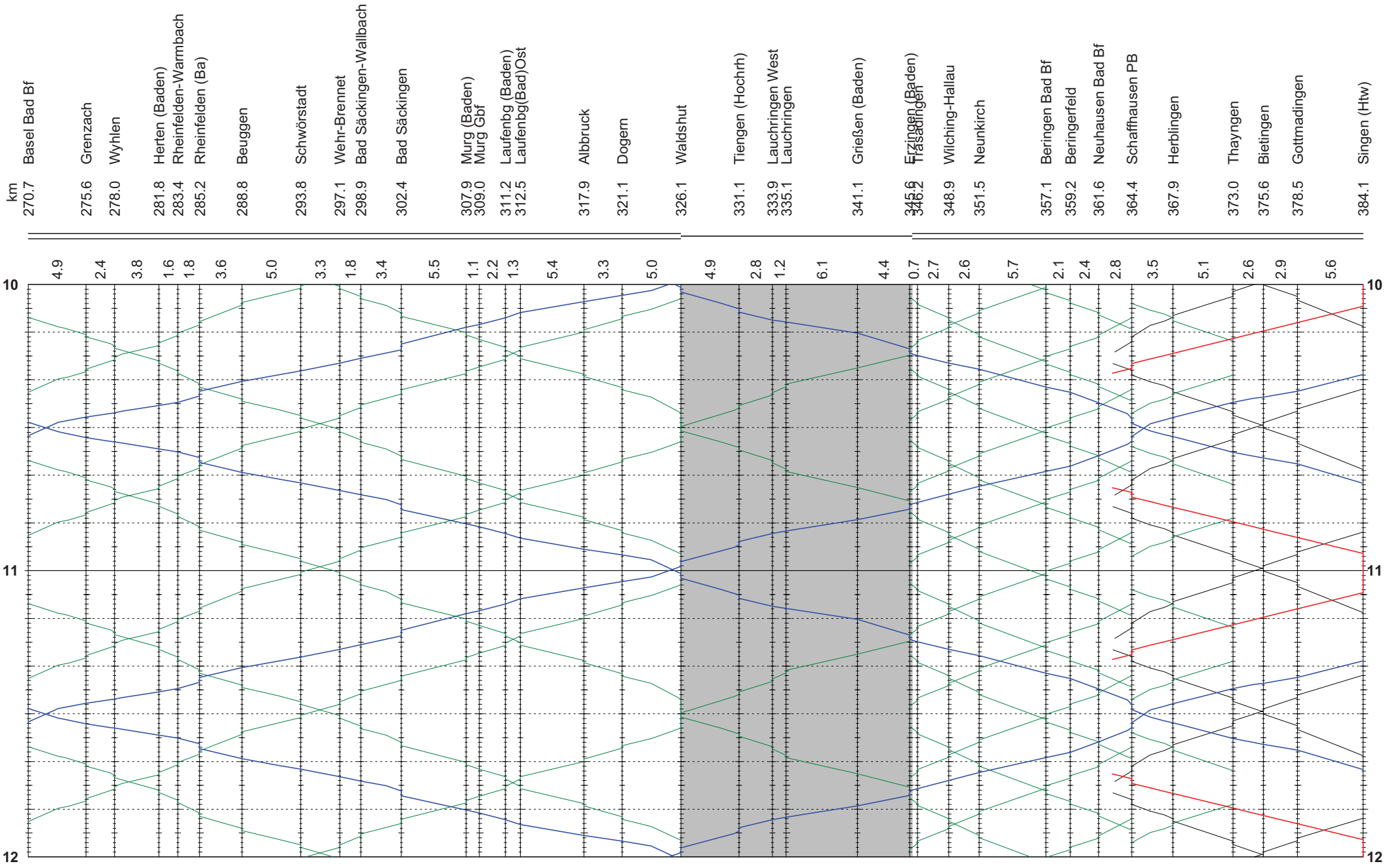
730: Basel - Waldshut - Schaffhausen - Singen (Hochrheinstrecke)

Timetable Period: All, Day(s): <all>, Day Type: <all>

Anhang 5.2

Fahrplanentwurf

Elektrifizierung Hochrhein, Variante 3

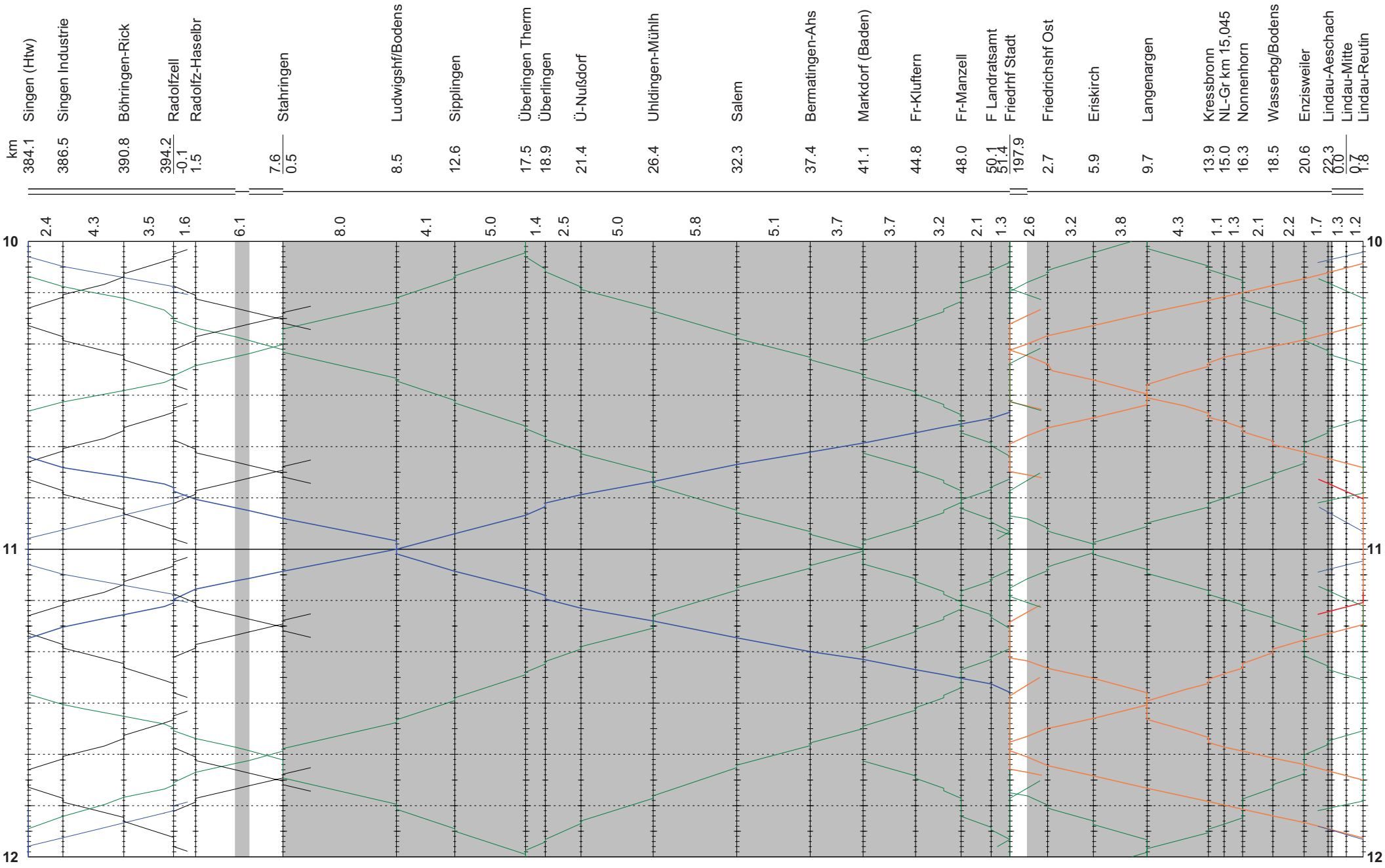


sma+viriato

sma

Stand: 18.11.2009

Anhang 5.3


km
Singen (Htw) 384.1
Singen Industrie 386.5
Böhringen-Rick 390.8
Radolfzell 394.2
Radolfz-Haselbr -0.1 1.5
Stahringen 7.6 0.5
Ludwigshf/Bodens 8.5
Sipplingen 12.6
Überlingen Therm 17.5
Überlingen 18.9
Ü-Nußdorf 21.4
Uhldingen-Mühlh 26.4
Salem 32.3
Bermatingen-Ahs 37.4
Markdorf (Baden) 41.1
Fr-Kluftern 44.8
Fr-Manzell 48.0
F Landratsamt 50.1
Friedrhf Stadt 51.4 197.9
Friedrichshf Ost 2.7
Eriskirch 5.9
Langenargen 9.7
Kressbronn 13.9
NL-Gr km 15,045 15.0
Nonnenhorn 16.3
Wasserbg/Bodens 18.5
Enzisweiler 20.6
Lindau-Aeschach 22.3
Lindau-Mitte 0.0 0.7
Lindau-Reutin 1.8
2.4 4.3 3.5 1.6 6.1 8.0 4.1 5.0 1.4 2.5 5.0 5.8 5.1 3.7 3.7 3.2 2.1 1.3 2.6 3.2 3.8 4.3 1.1 1.3 2.1 2.2 1.7 1.3 1.2
10
11
12

Anhang 6.1

Auflistung der Vor- und Nachteile

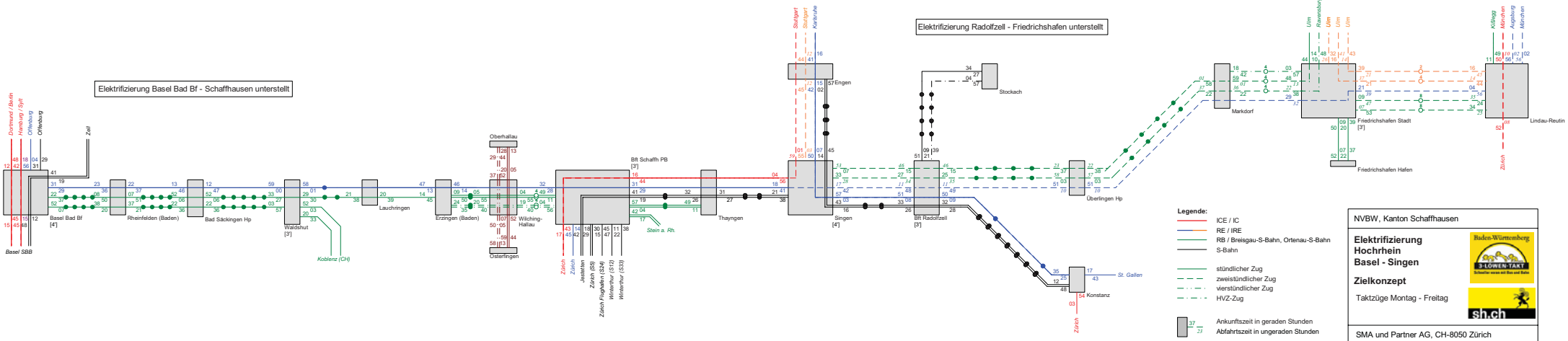
Variante	Reisezeiten		Verteilung Taktzüge	Betriebliche Aspekte	
	IRE Basel - Singen	**RB Basel - Waldshut**	**IRE / RB Abschnitt Waldshut - Erzingen in Waldshut**	**Lage RB Erzingen - Schaffhausen**	**Durchbindungsmöglichkeit RB in Erzingen**
Bezugsfall	Richtung: 73' Gegen-Ri: 73'	Richtung: 52' Gegen-Ri: 52'	Richtung: 29'/31' Gegen-Ri: 26'/34'	Gegenüber Vorgabe in einer Richtung um 2' verschoben	RB nur bis Lauchringen
Variante 1	Richtung: 73' Gegen-Ri: 73'	Richtung: 49' Gegen-Ri: 49'	Richtung: 38'/22' Gegen-Ri: 38'/22'	Gegenüber Vorgabe um 4' (GR 5') verschoben	mit 5' Standzeit
Variante 2	Richtung: 77' Gegen-Ri: 78'	Richtung: 50' Gegen-Ri: 49'	Richtung: 22'/38' Gegen-Ri: 39'/21'	Gegenüber Vorgabe um 7' (GR 3') verschoben	mit 11' Standzeit
Variante 3	Richtung: 73' Gegen-Ri: 73'	Richtung: 50' Gegen-Ri: 49'	Richtung: 29'/31' Gegen-Ri: 29'/31'	Gegenüber Vorgabe um 2' (GR 3') verschoben	mit 1'-2' Standzeit

Variante	Anschlussverhältnisse			
	Basel: von Fernverkehr aus Freiburg - Karlsruhe zum IRE	**Basel: von Fernverkehr aus Freiburg - Karlsruhe zur RB**	**Waldshut: IRE Basel auf S nach Koblenz (CH) - Baden**	**Waldshut: RB Basel auf S nach Koblenz (CH) - Baden**
Bezugsfall	Richtung: 15' Gegen-Ri: 17'	Richtung: 21' Gegen-Ri: 23'	Richtung: 4' Gegen-Ri: 7'	Richtung: 8' Gegen-Ri: 13'
Variante 1	Richtung: 27' Gegen-Ri: 27'	Richtung: 6' Gegen-Ri: 7'	Richtung: 22' Gegen-Ri: 28'	Richtung: 26' Gegen-Ri: 30' / 32'
Variante 2	Richtung: 7' Gegen-Ri: 7'	Richtung: 11' Gegen-Ri: 12'	Richtung: 12' Gegen-Ri: 16'	Richtung: 20' Gegen-Ri: 25' / 27'
Variante 3	Richtung: 16' Gegen-Ri: 17'	Richtung: 24' Gegen-Ri: 26'	Richtung: 3' Gegen-Ri: 7'	Richtung: 7' Gegen-Ri: 13'

Variante	Anschlussverhältnisse				
	Schaffhausen: IRE Basel auf FV nach Bülach - Zürich	**Singen: IRE Basel auf FV / NV Gäubahn**	**Singen: IRE Basel auf IRE Bodenseegürtelbahn**	**Singen: IRE Basel auf NV Konstanz**	**Singen: IRE Basel auf NV Engen / Schwarzwaldbahn**
Bezugsfall	Richtung: 18' Gegen-Ri: 16'	Richtung: 22' / 20' Gegen-Ri: 23' / 19'	Richtung: direkt (alle 2h) Gegen-Ri: direkt (alle 2h)	Richtung: 5' Gegen-Ri: 5'	Richtung: 4' Gegen-Ri: 4'
Variante 1	Richtung: 6' Gegen-Ri: 8'	Richtung: 9' / 11' Gegen-Ri: 13' / 9'	Richtung: 6' (alle 2h) Gegen-Ri: 6' (alle 2h)	Richtung: 11' (auf RE) Gegen-Ri: 11' (auf RE)	Richtung: 15' Gegen-Ri: 18'
Variante 2	Richtung: 25' Gegen-Ri: 26'	Richtung: 25' / 27' Gegen-Ri: 24' / 28'	Richtung: 6' (alle 2h) Gegen-Ri: 6' (alle 2h)	Richtung: 10' Gegen-Ri: 10'	Richtung: 9' Gegen-Ri: 9'
Variante 3	Richtung: 18' Gegen-Ri: 18'	Richtung: 22' / 20' Gegen-Ri: 23' / 19'	Richtung: 61' (alle 2h) Gegen-Ri: 61' (alle 2h)	Richtung: 5' Gegen-Ri: 5'	Richtung: 4' Gegen-Ri: 4'

Anhang 7.1: Netzgrafik Zielzustand
Anhang 7.2: Bildfahrplan Zielzustand Hochrhein
Anhang 7.3: Bildfahrplan Zielzustand Bodensee-Gürtelbahn
Anhang 7.4: Gleisbelegung Basel Bad Bf
Anhang 7.5: Gleisbelegung Erzingen (Durchbindung Schaffhausen – Basel)
Anhang 7.6: Gleisbelegung Erzingen (RB-Wende auf Gleis 1)
Anhang 7.7: Gleisbelegung Schaffhausen
Anhang 7.8: Gleisbelegung Singen
Anhang 7.9: Gleisbelegung Radolfzell
Anhang 7.10: Gleisbelegung Friedrichshafen Stadt

Anhang 7.1



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden / Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

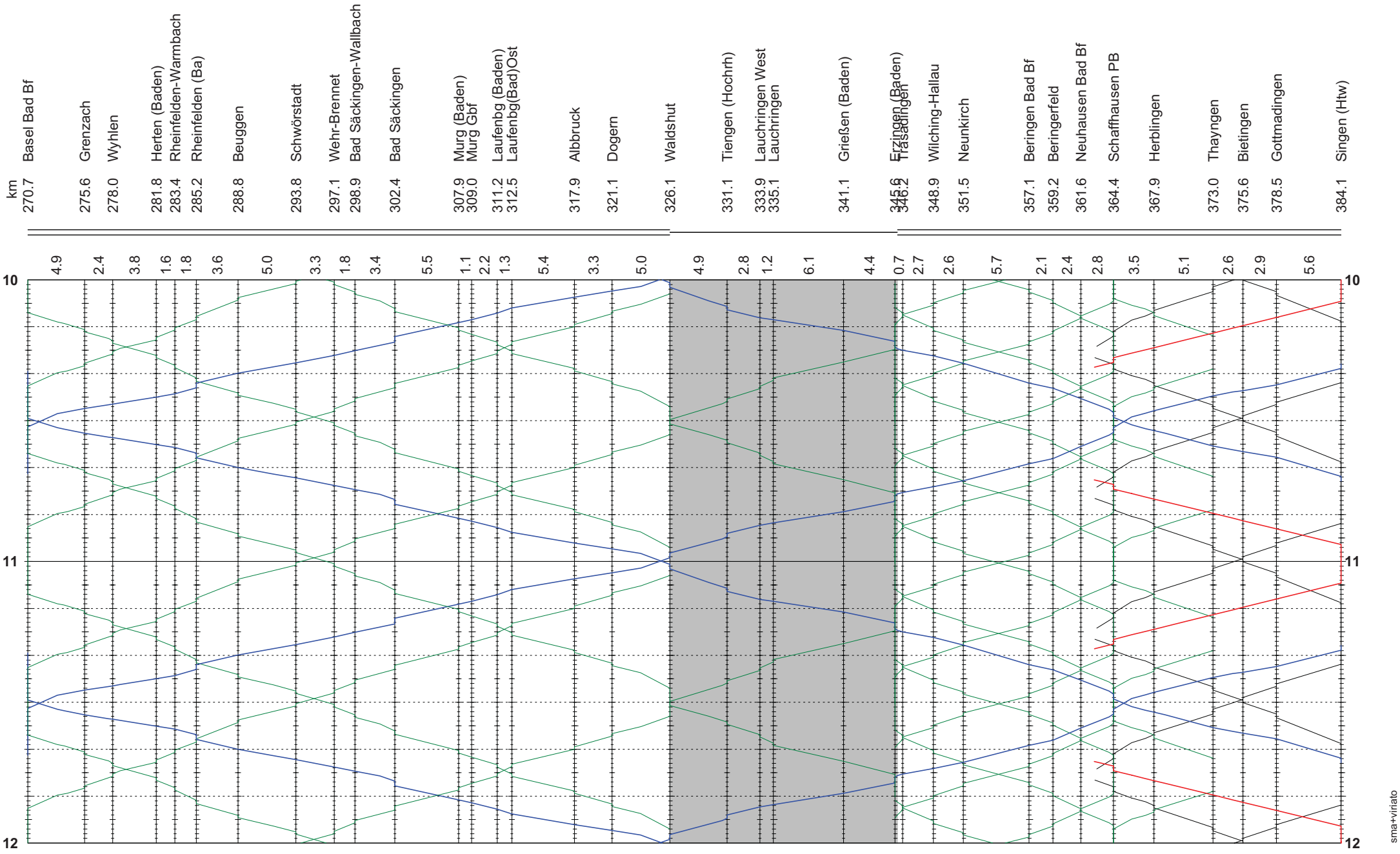
Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Zielkonzept

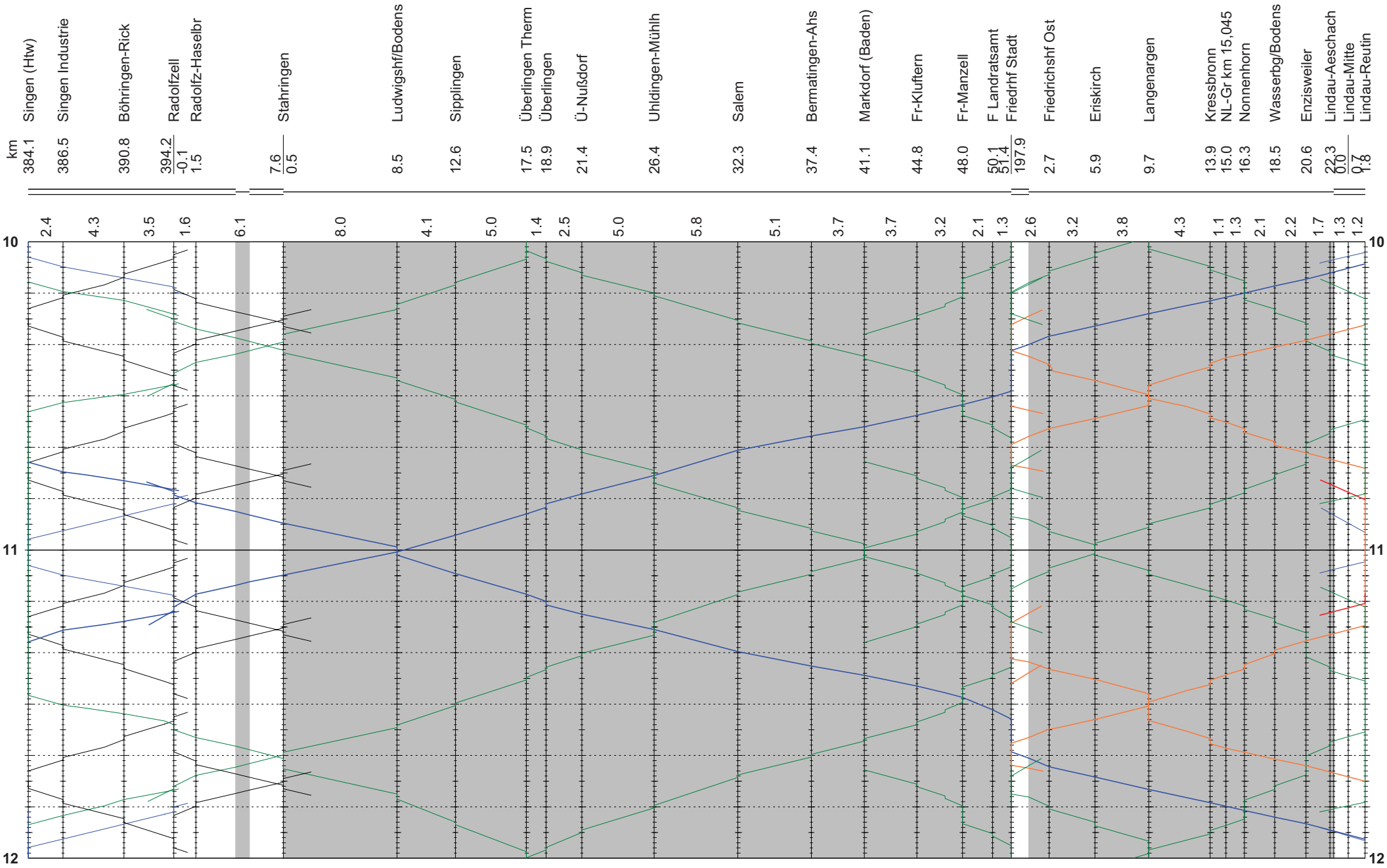
Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Z | mm, mf 13.05.2009


km
Basel Bad Bf 270.7
Grenzach 275.6
Wyhlen 278.0
Herten (Baden) 281.8
Rheinfelden-Warmbach 283.4
Rheinfelden (Ba) 285.2
Beuggen 288.8
Schwörstadt 293.8
Wehr-Brennet 297.1
Bad Säckingen-Wallbach 298.9
Bad Säckingen 302.4
Murg (Baden) 307.9
Murg Gbf 309.0
Laufenbg (Baden) 311.2
Laufenbg(Bad)Ost 312.5
Albbruck 317.9
Dogern 321.1
Waldshut 326.1
Tiengen (Hochrh) 331.1
Lauchringen West 333.9
Lauchringen 335.1
Grießen (Baden) 341.1
Erzingen (Baden) 345.6
Trasadingen 346.2
Wilching-Hallau 348.9
Neunkirch 351.5
Beringen Bad Bf 357.1
Beringerfeld 359.2
Neuhausen Bad Bf 361.6
Schaffhausen PB 364.4
Herblingen 367.9
Thayngen 373.0
Bietingen 375.6
Gottmadingen 378.5
Singen (Htw) 384.1
10
11
12

Anhang 7.3



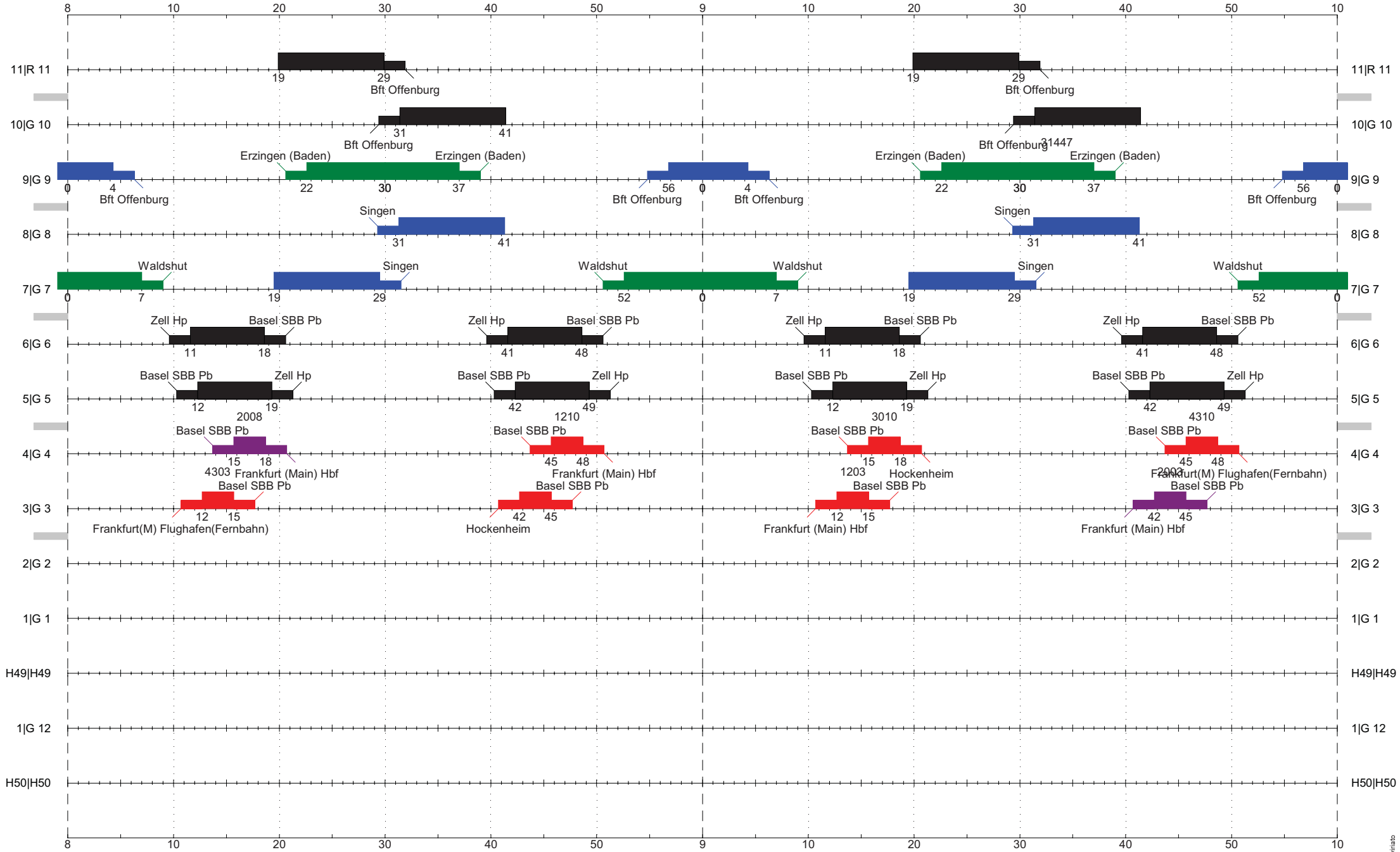
sma

sma+viriato

SMA und Partner AG
Basel Bad Bf
Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

Anhang 7.4

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept



sma

Stand: 11.03.2009

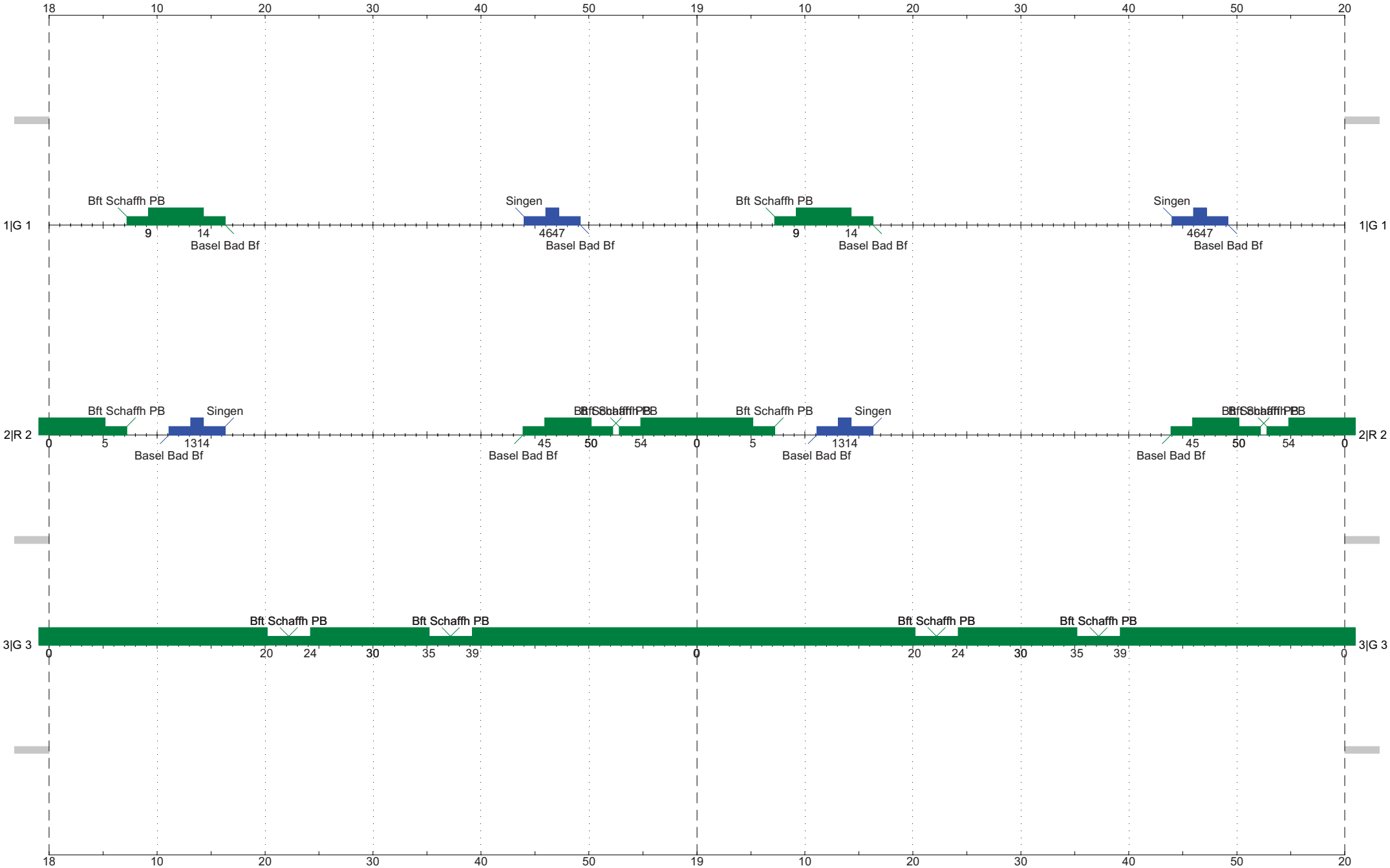
sma+viriato

SMA und Partner AG
Erzingen (Baden)

Anhang 7.5

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma

Stand: 11.03.2009

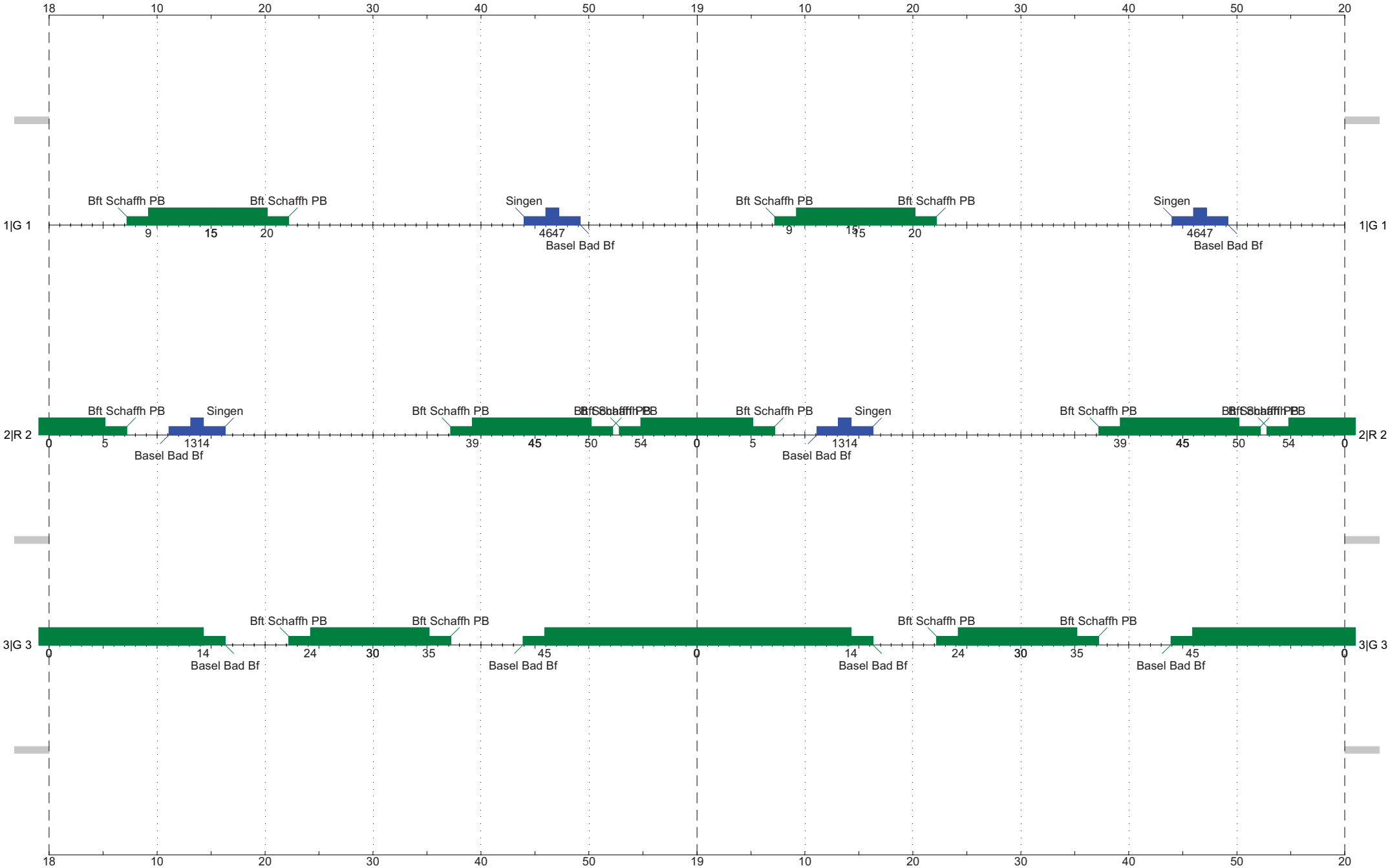
sma+viriato

SMA und Partner AG
Erzingen (Baden)

Anhang 7.6

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma

Stand: 11.03.2009

sma+viriato

SMA und Partner AG

Schaffhausen PB

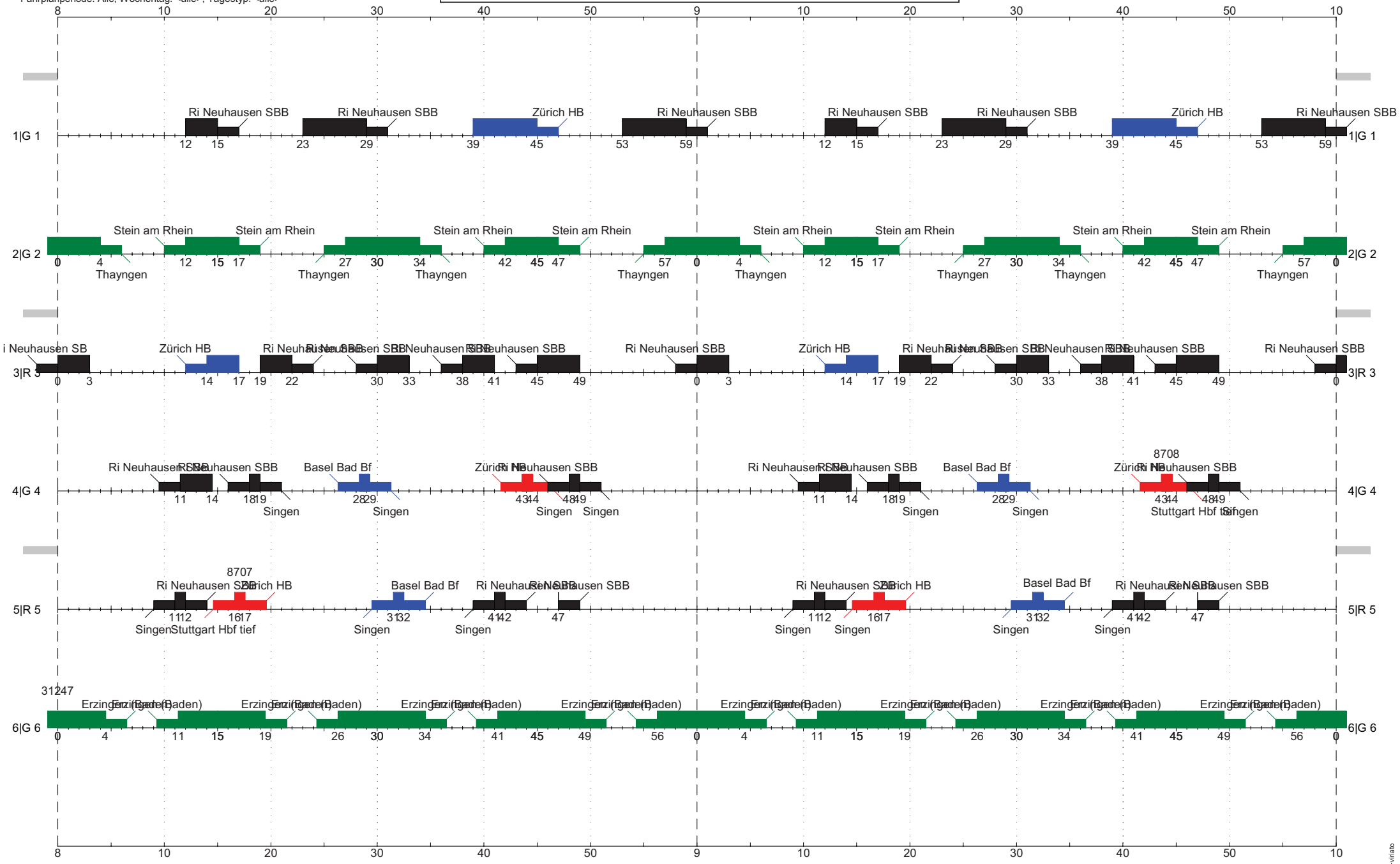
Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

Anhang 7.7

Züge, die nicht die Hochrheinstrecke befahren, sind nicht konfliktfrei

Fahrplanentwurf

Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept



sma

Stand: 24.03.2009

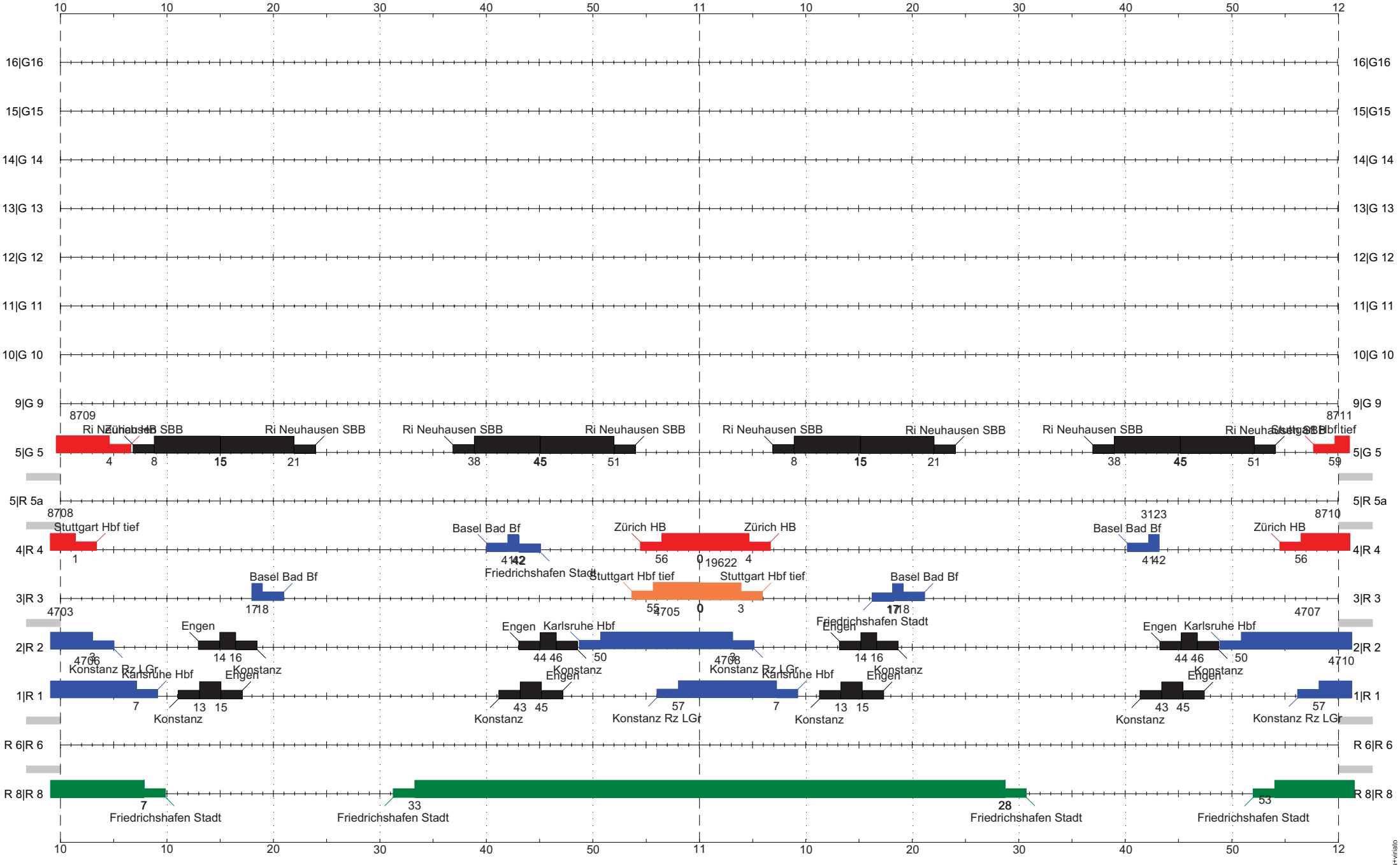
sma+viriato

SMA und Partner AG
Singen (Htw)

Anhang 7.8

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma

Stand: 12.03.2009

sma+viriato

SMA und Partner AG

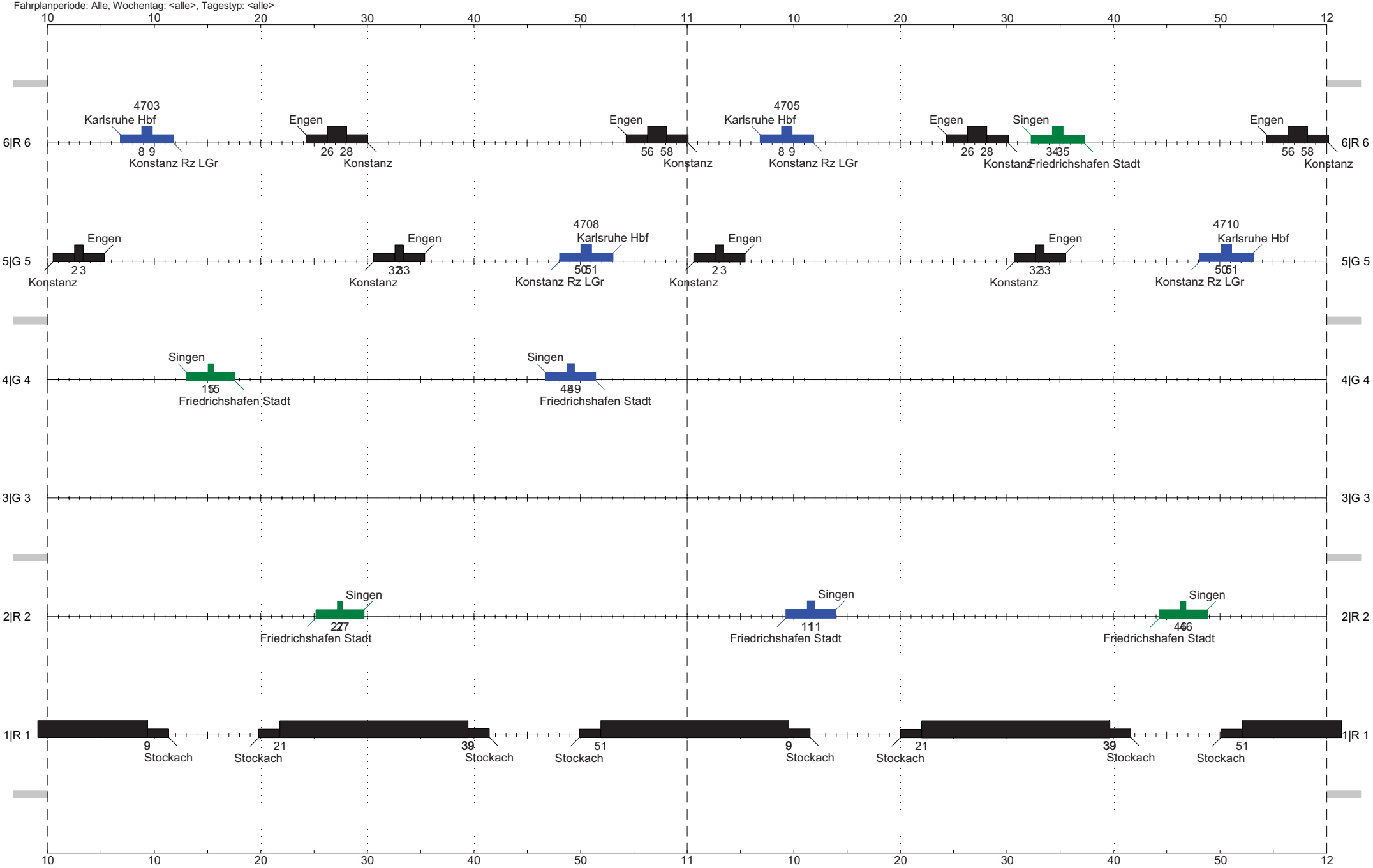
Radolfzell

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

Anhang 7.9

Fahrplanentwurf

Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept



sma

Stand: 12.03.2009

sma+virato

SMA und Partner AG

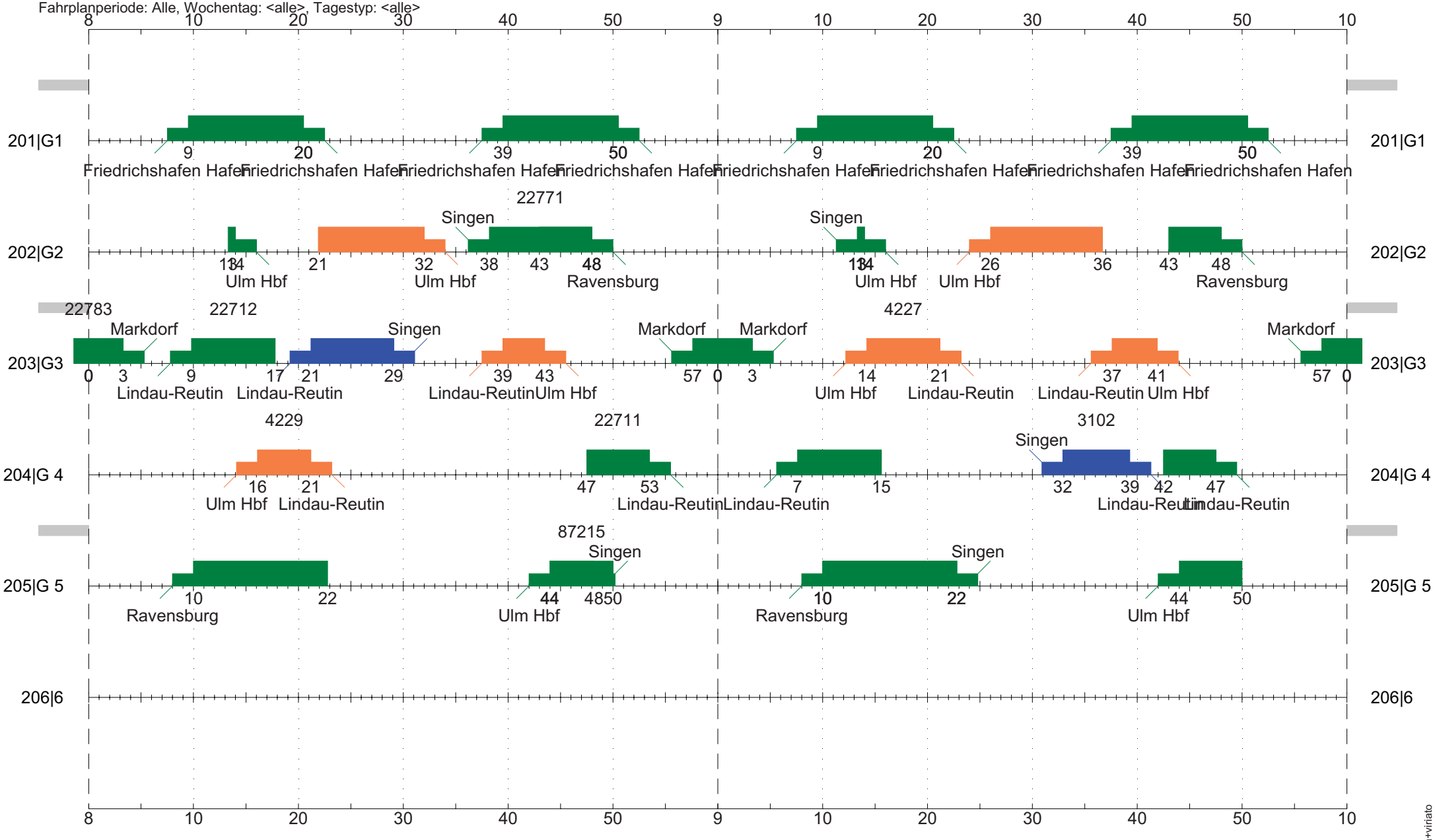
Friedrhf Stadt

Anhang 7.10

Fahrplanentwurf

Elektrifizierung Hochrhein, Zielkonzept

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

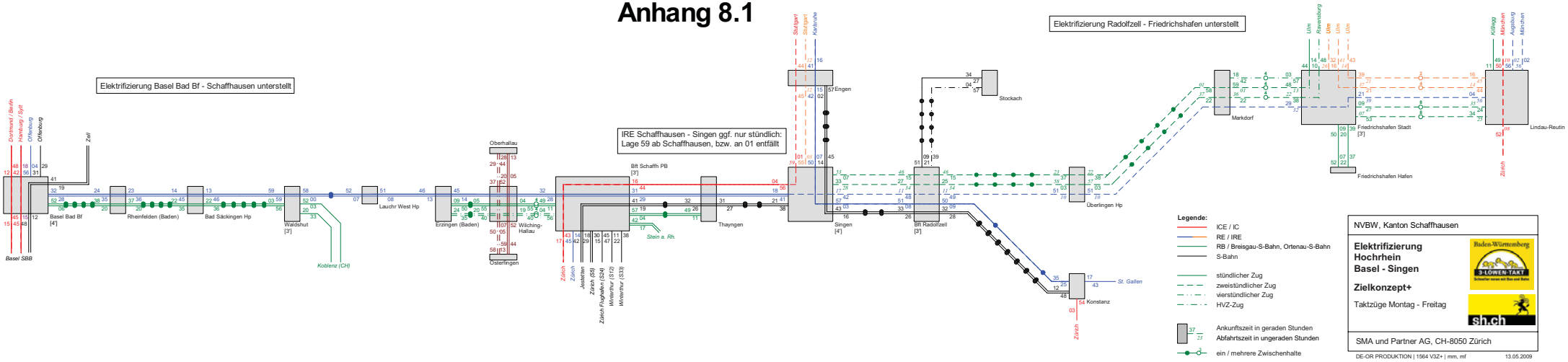


sma

Stand: 09.09.2009

sma+viriato

Anhang 8.1



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- 37 / 23 — Ankunftszeit in geraden Stunden / Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Zielkonzept+

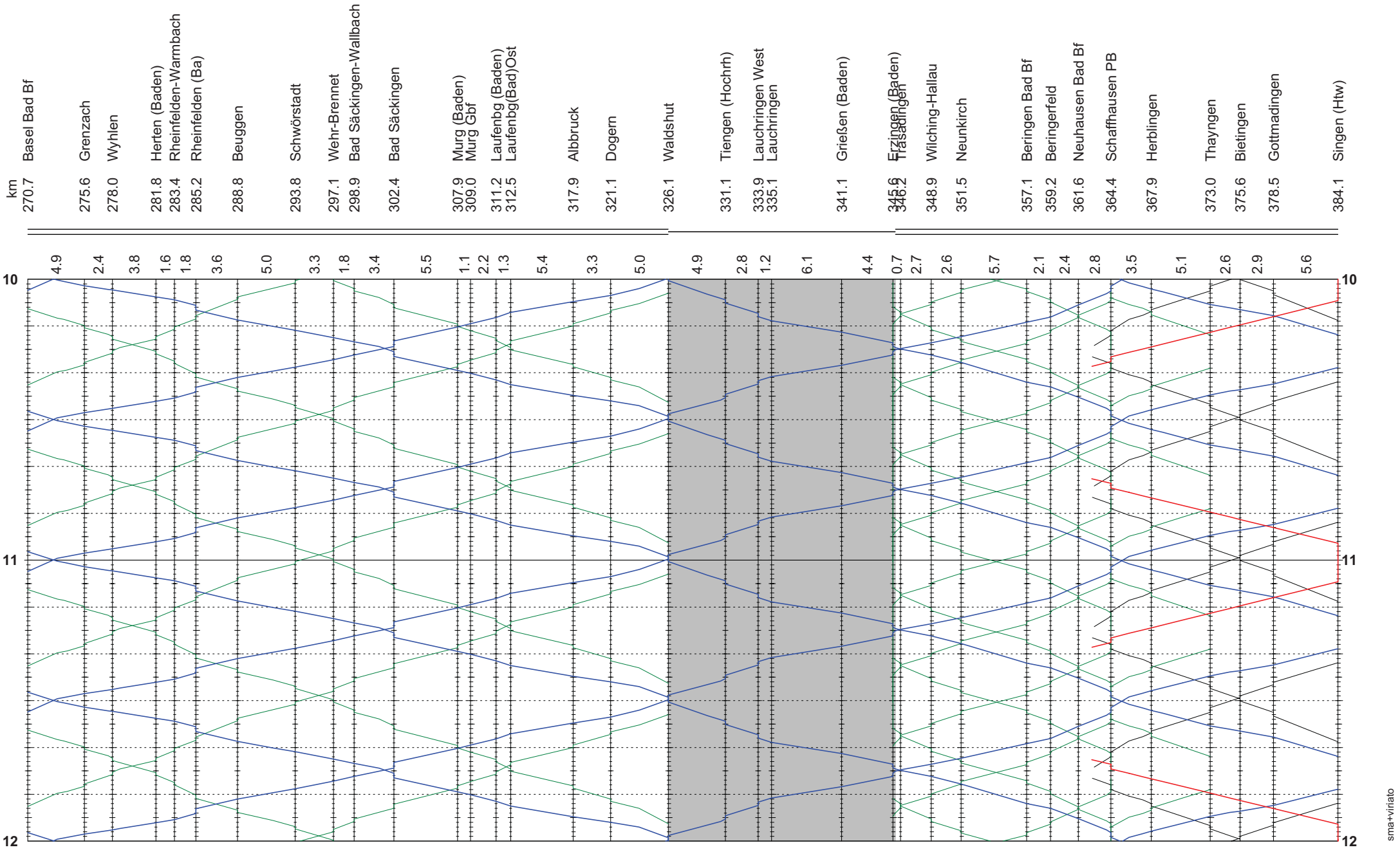
Taktzüge Montag - Freitag

Baden-Württemberg 3-LÖWEN-TAKT Schneller voran mit Bus und Bahn

sh.ch

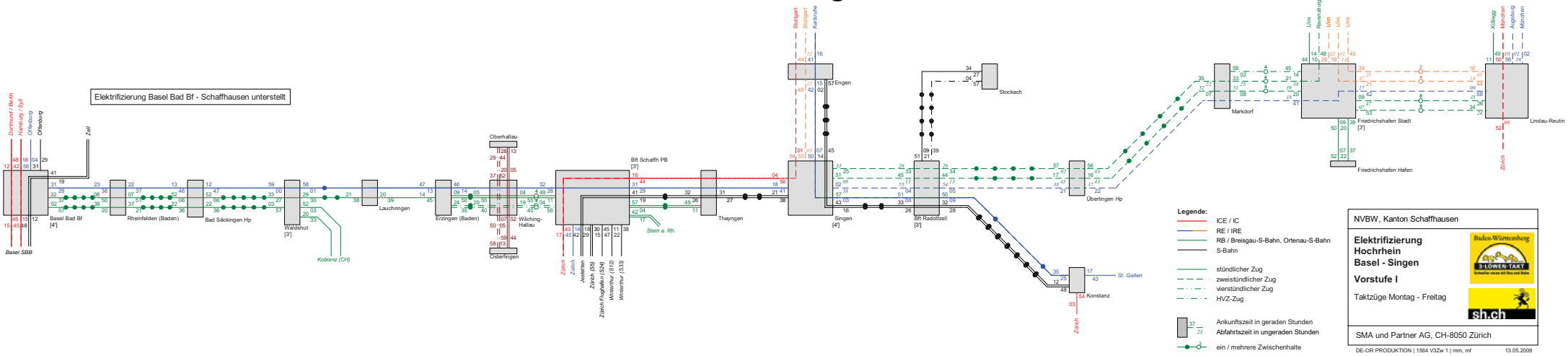
SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Z+ | mm, mf 13.05.2009


km
Basel Bad Bf 270.7
Grenzach 275.6
Wyhlen 278.0
Herten (Baden) 281.8
Rheinfelden-Warmbach 283.4
Rheinfelden (Ba) 285.2
Beuggen 288.8
Schwörstadt 293.8
Wehr-Brennet 297.1
Bad Säckingen-Wallbach 298.9
Bad Säckingen 302.4
Murg (Baden) 307.9
Murg Gbf 309.0
Laufenbg (Baden) 311.2
Laufenbg(Bad)Ost 312.5
Albbruck 317.9
Dogern 321.1
Waldshut 326.1
Tiengen (Hochrh) 331.1
Lauchringen West 333.9
Lauchringen 335.1
Grießen (Baden) 341.1
Erzingen (Baden) 345.6
Trasadingen 346.2
Wilching-Hallau 348.9
Neunkirch 351.5
Beringen Bad Bf 357.1
Beringerfeld 359.2
Neuhausen Bad Bf 361.6
Schaffhausen PB 364.4
Herblingen 367.9
Thayngen 373.0
Bietingen 375.6
Gottmadingen 378.5
Singen (Htw) 384.1
10
11
12

Anhang 9.1: Netzgrafik Vorstufe I
Anhang 9.2: Bildfahrplan Bodensee-Gürtelbahn Vorstufe I
Anhang 9.3: Netzgrafik Vorstufe II
Anhang 9.4: Bildfahrplan Bodensee-Gürtelbahn Vorstufe II
Anhang 9.5: Netzgrafik Vorstufe III
Anhang 9.6: Bildfahrplan Bodensee-Gürtelbahn Vorstufe III
Anhang 9.7: Netzgrafik Vorstufe IV
Anhang 9.8: Bildfahrplan Bodensee-Gürtelbahn Vorstufe IV
Anhang 9.9: Gleisbelegung Bahnhof Singen Vorstufe IV
Anhang 9.10: Gleisbelegung Bahnhof Radolfzell Vorstufe IV
Anhang 9.11: Gleisbelegung Bahnhof Friedrichshafen Stadt Vorstufe IV
Anhang 9.12: Netzgrafik Vorstufe IV+ (Zielkonzept + mit Vorstufe IV)

Anhang 9.1



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden / Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

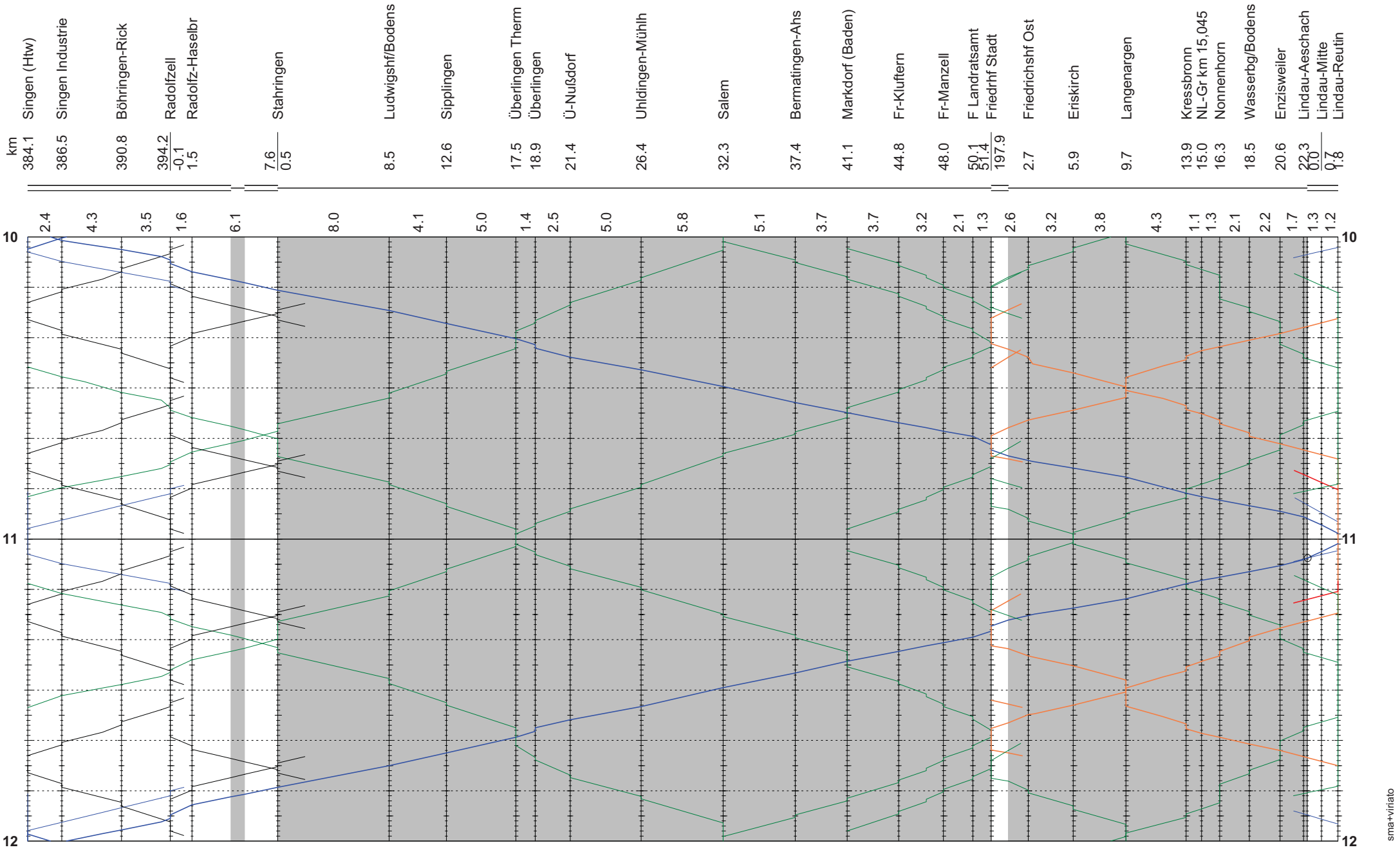
Vorstufe I

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Zw 1 | mm, mf 13.05.2009

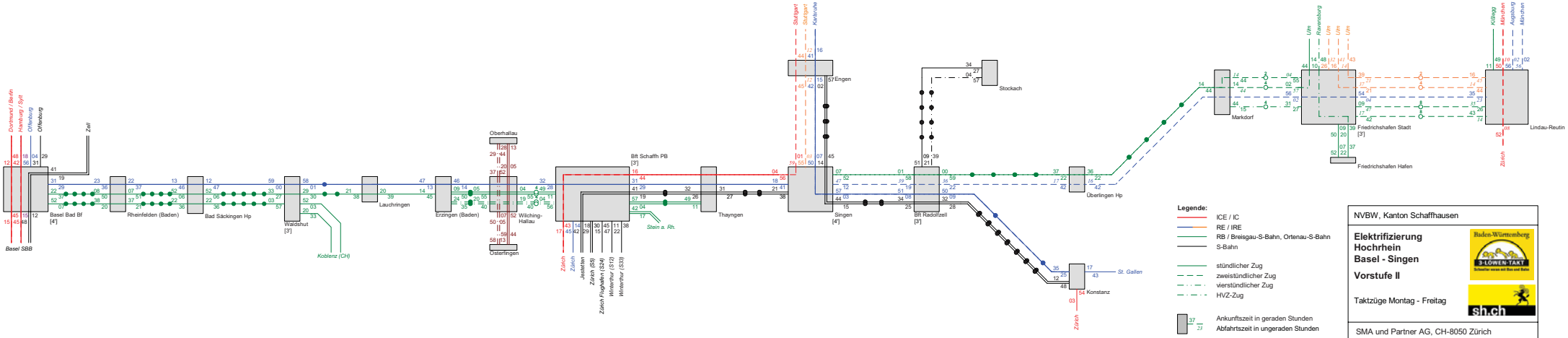
Anhang 9.2



sma

sma+viriato

Anhang 9.3



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden
- Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

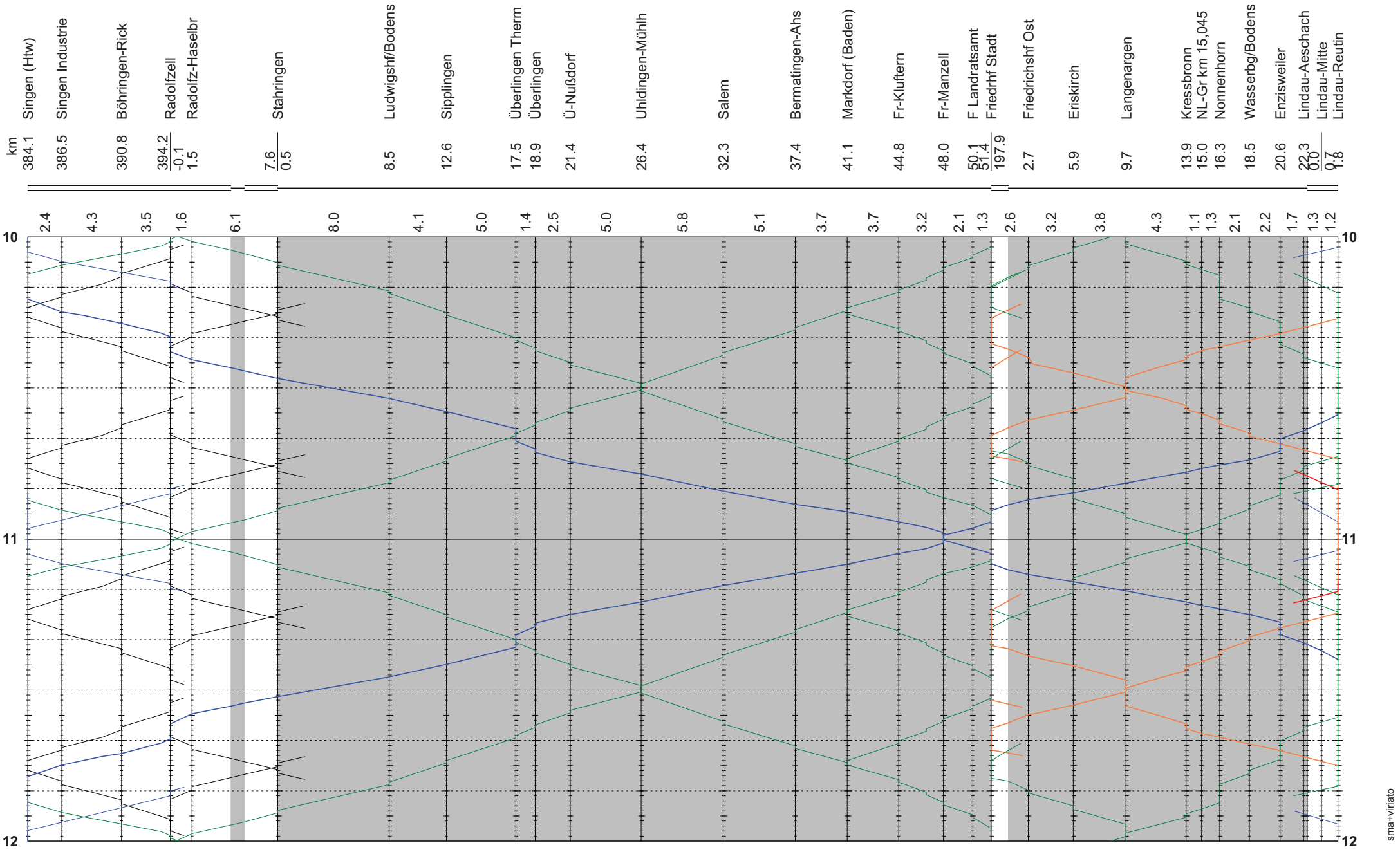
Vorstufe II

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Zw 2 | mm, mf 13.05.2009

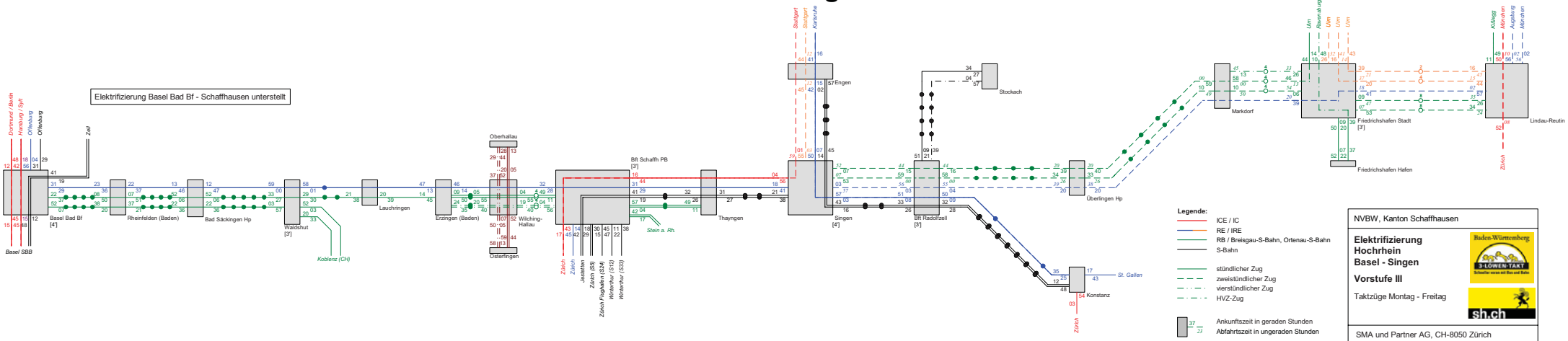
Anhang 9.4



sma

sma+viriato

Anhang 9.5



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden
- Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

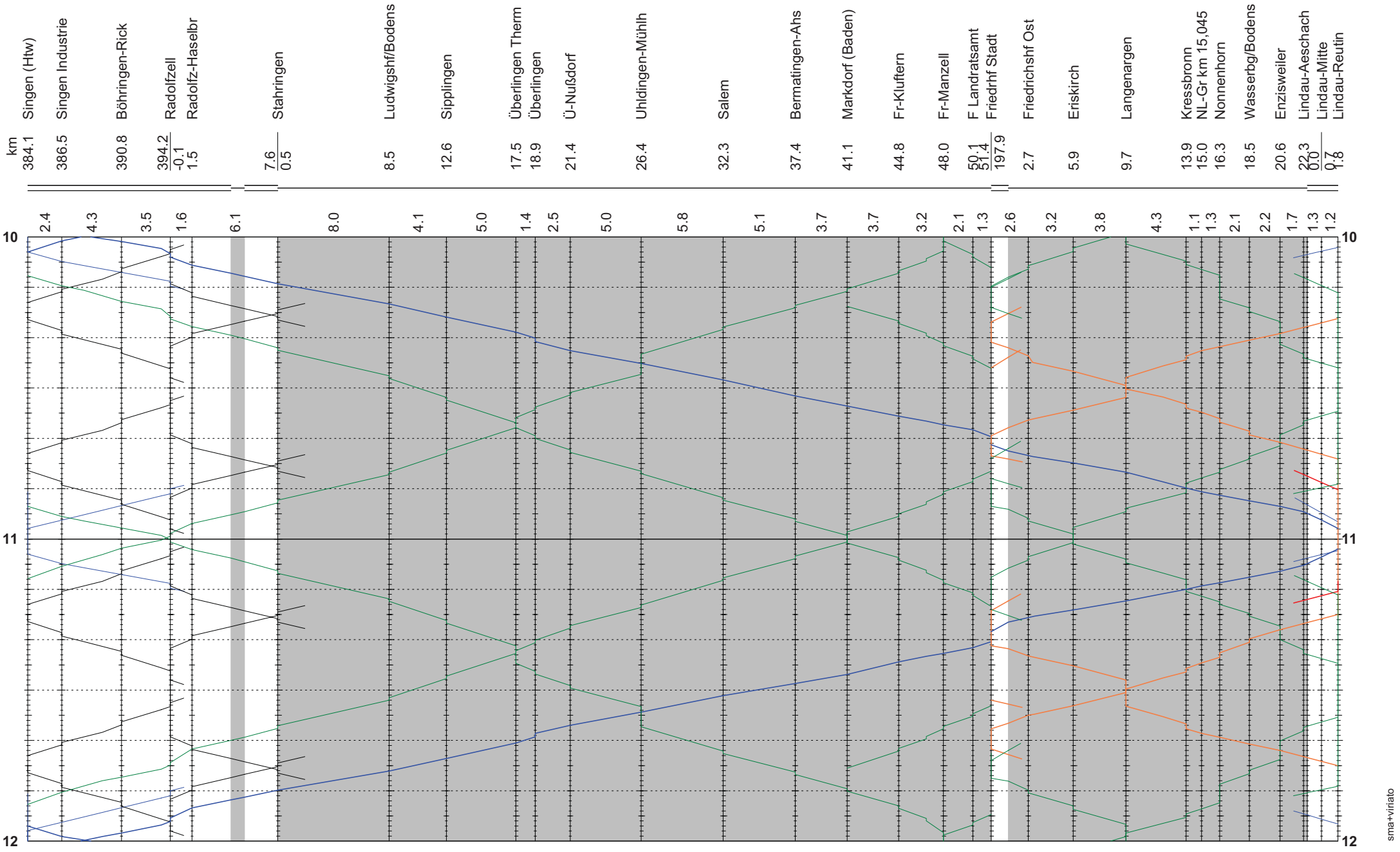
Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Vorstufe III

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

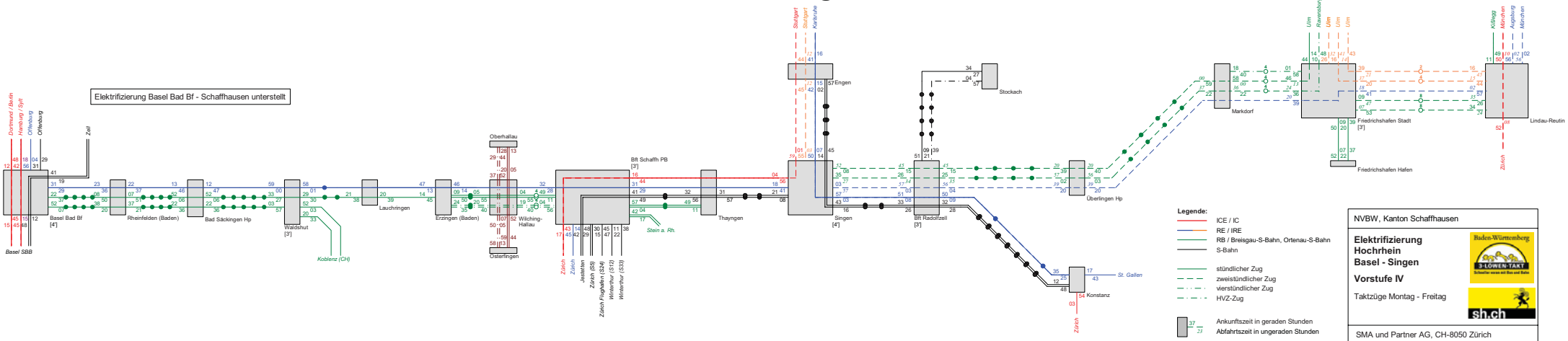
DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Zw 3 | mm, mf 13.05.2009



sma

sma+viriato

Anhang 9.7



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden
  Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

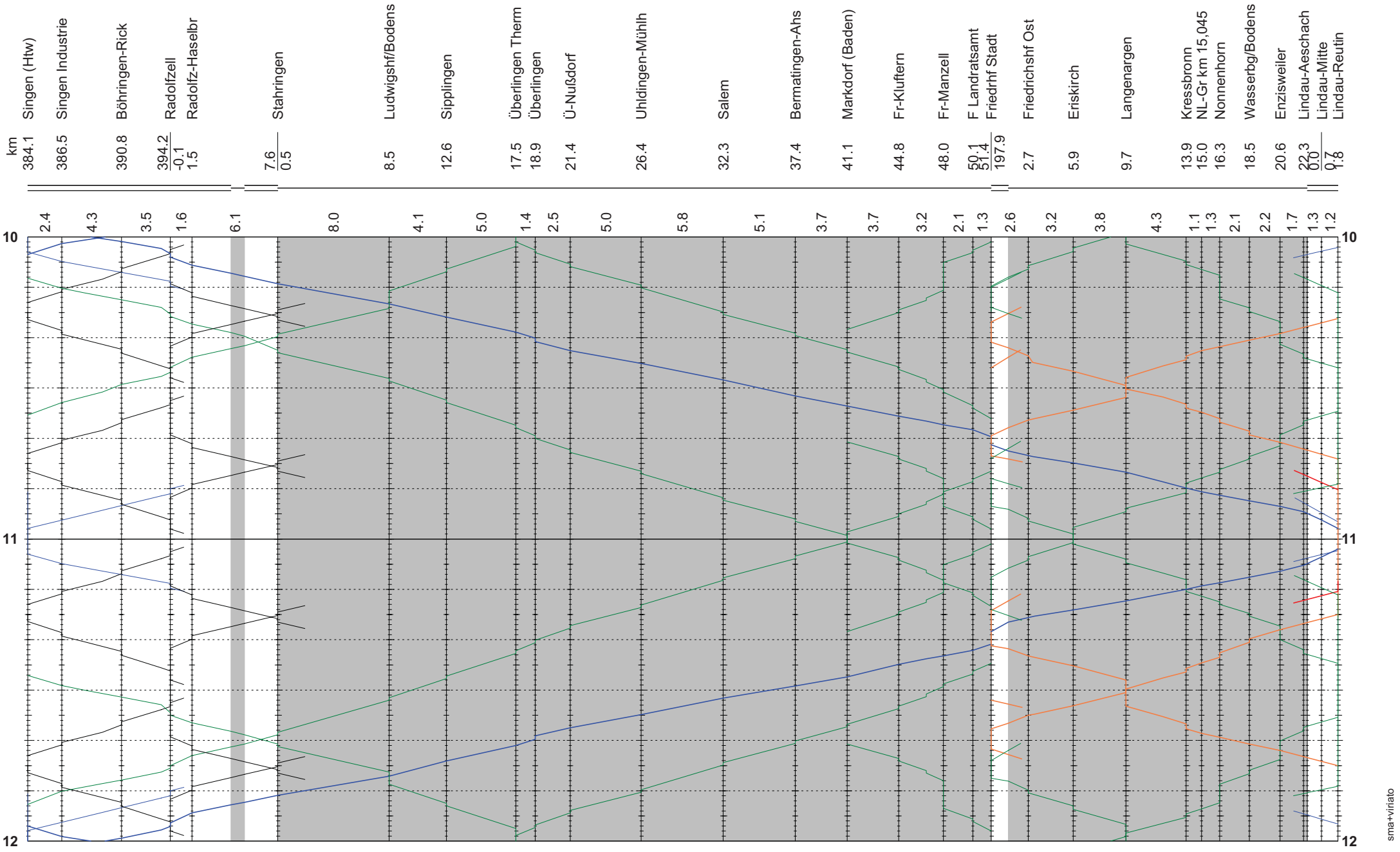
Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Vorstufe IV

Taktzüge Montag - Freitag

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Zw 4 | mm, mf 13.05.2009



sma

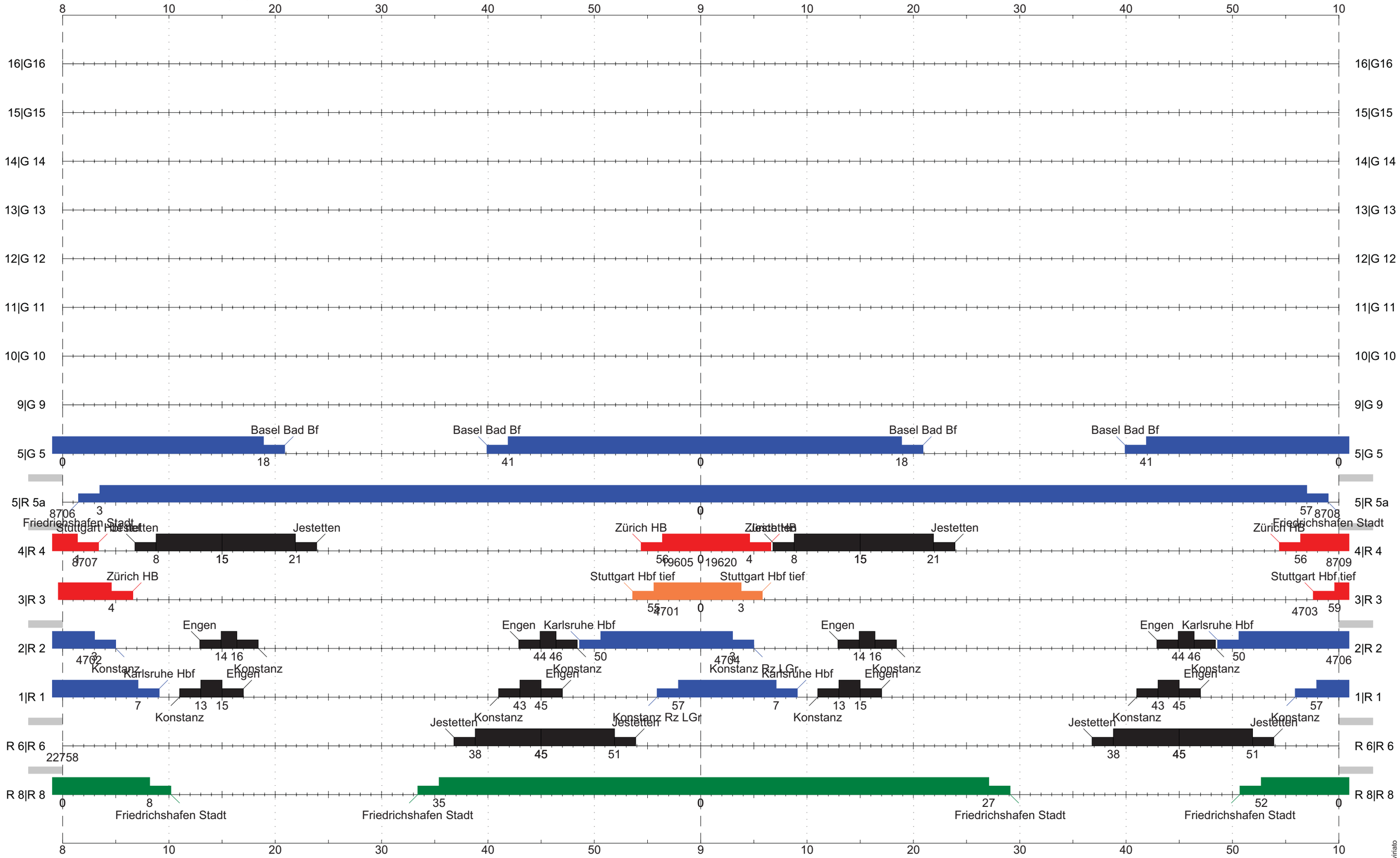
sma+viriato

SMA und Partner AG
Singen (Htw)

Anhang 9.9

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Vorstufe IV

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma

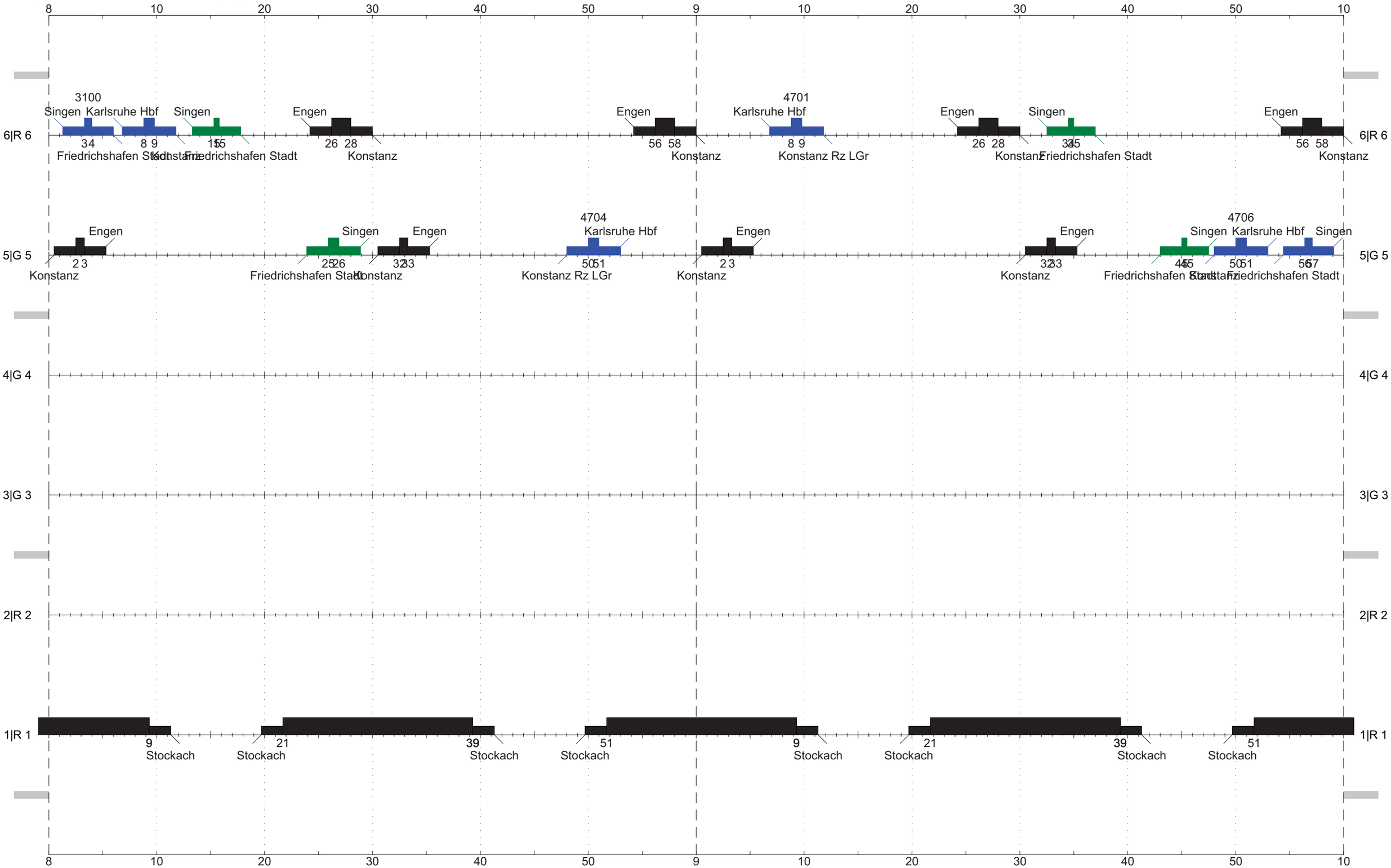
Stand: 08.09.2009

SMA und Partner AG
Radolfzell

Anhang 9.10

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Vorstufe IV

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>



sma

Stand: 08.09.2009

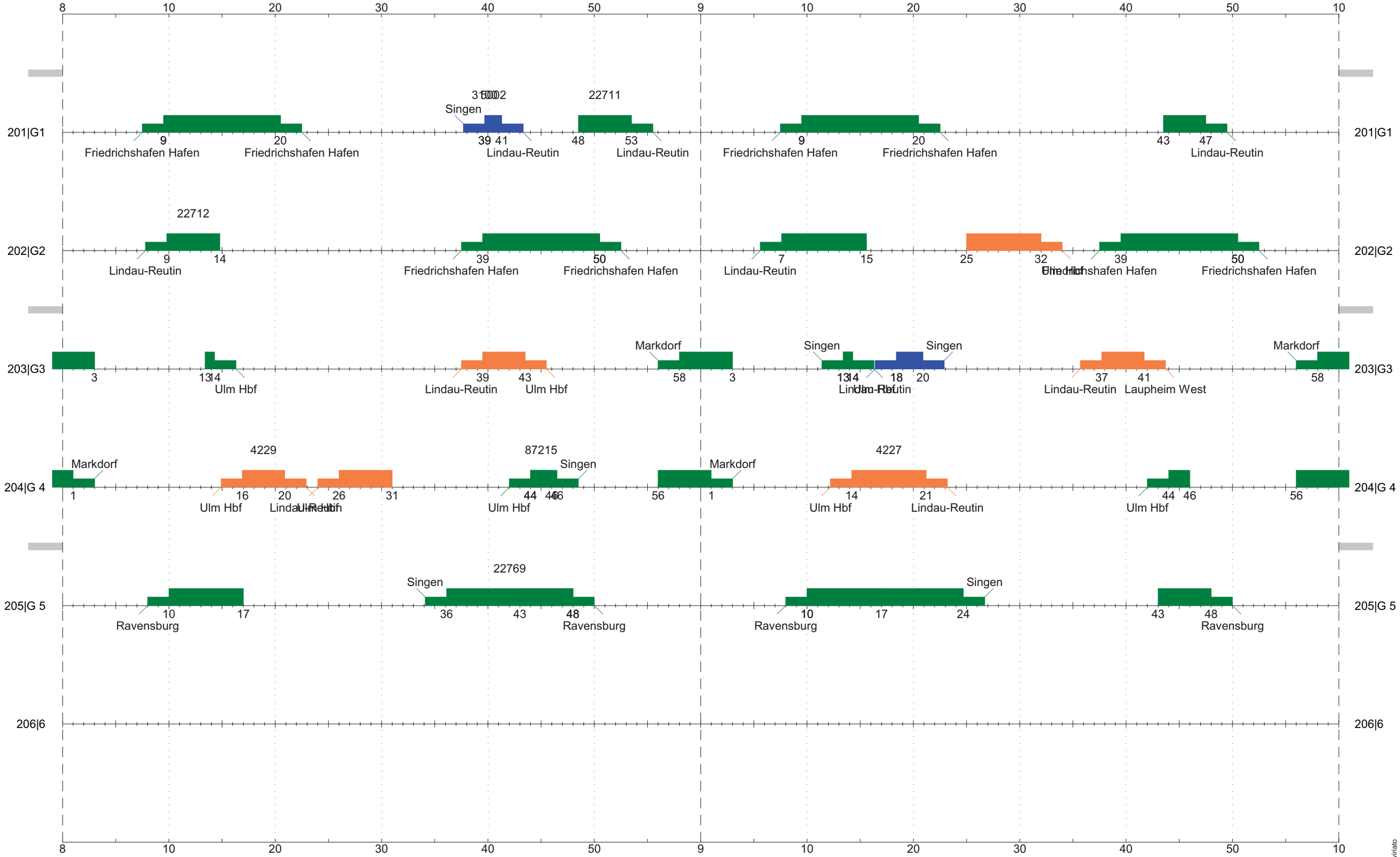
sma+virtato

SMA und Partner AG
Friedrhf Stadt

Anhang 9.11

Fahrplanentwurf
Elektrifizierung Hochrhein, Vorstufe IV

Fahrplanperiode: Alle, Wochentag: <alle>, Tagestyp: <alle>

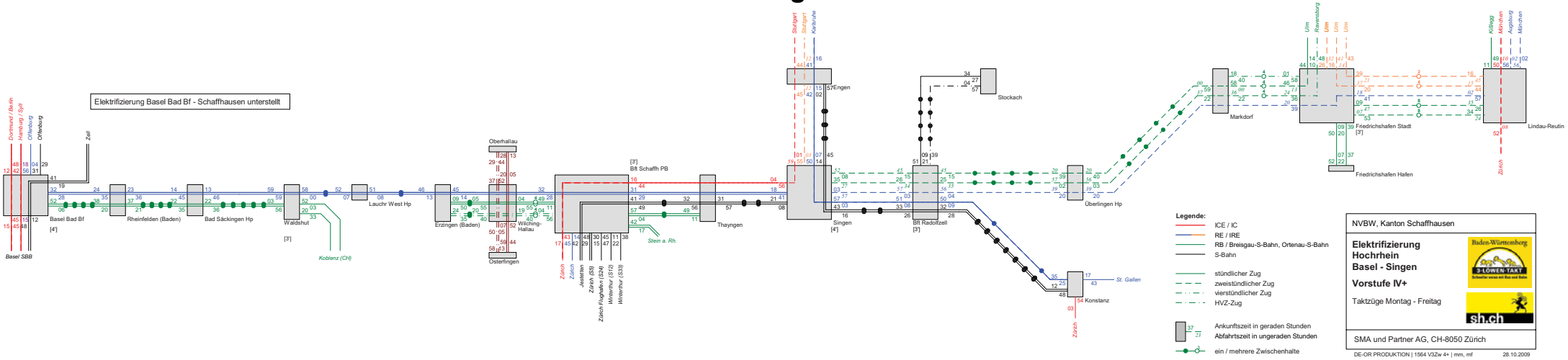


sma

Stand: 08.09.2009

sma+viriato

Anhang 9.12



Legende:

- ICE / IC
- RE / IRE
- RB / Breisgau-S-Bahn, Ortenau-S-Bahn
- S-Bahn
- stündlicher Zug
- zweistündlicher Zug
- vierstündlicher Zug
- HVZ-Zug
- Ankunftszeit in geraden Stunden / Abfahrtszeit in ungeraden Stunden
- ein / mehrere Zwischenhalte

NVBW, Kanton Schaffhausen

Elektrifizierung Hochrhein Basel - Singen

Vorstufe IV+

Taktzüge Montag - Freitag

Baden-Württemberg 3-LÖWEN-TAKT Schneller reisen mit Bus und Bahn

sh.ch

SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

DE-OR PRODUKTION | 1564 V3Zw 4+ | mm, mf 28.10.2009

Anhang 10.1: Umläufe Bezugsfall
Anhang 10.2: Umläufe Zielkonzept
Anhang 10.3: Umläufe Zielkonzept (Umlaufoptimiert)
Anhang 10.4: Umläufe Zielkonzept+
Anhang 10.5: Umläufe Vorstufe

Anhang 10.1

Umläufe Bezugsfall

Linie	Typ	Prod.	Anfangspunkt (A)	Endpunkt (E)	Takt	W_A Min.	R_{A-E} Min.	W_E Min.	R_{E-A} Min.	**Umläufe**	**Anzahl ET / VT**	Anz. Uml. DT	ET	Anfangspun an	Anfangspun ab	Endpunkt an	Endpunkt ab
730	VT611	IRE	Basel	Singen	120	56	74	37	73	**2**	**3**	1	1.5	31	27	41	18
730	VT641	RB	Basel	Waldshut	60	8	52	8	52	**2**	**2**	0	1	55	03	55	03
730	VT641	RB	Basel	Lauchringen	60	8	67	39	66	**3**	**6**	3	2	25	33	40	19
730	GTW	RB	Erzingen	Schaffhausen	30	8	21	9	22	**2**	**2**	0	1	40	18	39	18
730	GTW	HVZ	Erzingen	Schaffhausen	30	8	21	9	22	**2**	**2**	0	1	25	33	54	03
730	VT611	IRE	Basel	Friedrichshafen	120	56	120	65	119	**3**	**4**	1	1.33	31	27	27	32
731	RS1	RB	Singen	Friedrichshafen	120	15	65	*3*	67	**1.25**	**2.25**	1	1.8	53	08	13	46
731	RS1	RB	Radolfzell	Friedrichshafen	120	70	64	*10*	66	**1.75**	**1.75**	0	1	25	35	39	19
731	RS1	HVZ	Markdorf	Friedrichshafen	60	23	17	3	17	**1**	**1**	0	1	18	41	58	01
								Total		**18**	**24**						
								inkl. Reserve (+10%)			**27**						

W_A Wendezeit im Anfangspunkt
R_{A-E} Reisezeit Anfangs- bis Endpunkt
W_E Wendezeit im Endpunkt
R_{E-A} Reisezeit End- bis Anfangspunkt
11 Durchgebundene Umläufe

Anhang 10.2

Umläufe Zielkonzept

Linie	Typ	Prod.	Anfangspunkt (A)	Endpunkt (E)	Takt	W_A Min.	R_{A-E} Min.	W_E Min.	R_{E-A} Min.	**Umläufe**	**Anzahl ET / VT**	Anz. Uml. DT	ET	Anfangspun an	Anfangspun ab	Endpunkt an	Endpunkt ab
730	ET	IRE	Basel	Singen	120	58	72	37	73	**2**	**3**	1	1.5	31	29	41	18
730	ET	RB	Basel	Waldshut	60	15	50	6	49	**2**	**2**	0	1	52	07	57	03
730	ET	RB	Basel	Erzingen	60	15	68	29	68	**3**	**6**	3	2	22	37	45	14
730	ET	RB	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	09	50	11	49
730	ET	HVZ	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	24	35	56	04
731	ET	IRE	Basel	Friedrichshafen	120	58	123	57	122	**3**	**3**	0	1	31	29	32	29
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	14	66	*5*	65	**1.25**	**2.25**	1	1.8	53	07	13	48
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	55	70	*14*	71	**1.75**	**1.75**	0	1	33	28	38	22
731	ET	HVZ	Markdorf	Friedrichshafen	60	24	15	6	15	**1**	**1**	0	1	18	42	57	03
								Total		**18**	**23**						
								inkl. Reserve (+10%)			**26**						

W_A Wendezeit im Anfangspunkt
R_{A-E} Reisezeit Anfangs- bis Endpunkt
W_E Wendezeit im Endpunkt
R_{E-A} Reisezeit End- bis Anfangspunkt
11 Durchgebundene Umläufe

Anhang 10.3

Umläufe Zielkonzept (Umlaufoptimiert)

Linie	Typ	Prod.	Anfangspunkt (A)	Endpunkt (E)	Takt	W_A Min.	R_{A-E} Min.	W_E Min.	R_{E-A} Min.	**Umläufe**	**Anzahl ET / VT**	Anz. Uml. DT	ET	Anfangspun an	Anfangspun ab	Endpunkt an	Endpunkt ab
730	ET	IRE	Basel	Singen	120	*-2*	72	37	73	**1.5**	**2.5**	1	1.67	31	29	41	18
730	ET	RB	Basel	Waldshut	60	15	50	6	49	**2**	**2**	0	1	52	07	57	03
730	ET	RB	Basel	Erzingen	60	*15*	68	29	68	**3**	**6**	3	2	22	37	45	14
730	ET	RB	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	09	50	11	49
730	ET	HVZ	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	24	35	56	04
731	ET	IRE	Basel	Friedrichshafen	120	*-2*	123	57	122	**2.5**	**2.5**	0	1	31	29	32	29
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	14	66	*5*	65	**1.25**	**2.25**	1	1.8	53	07	13	48
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	55	70	*14*	71	**1.75**	**1.75**	0	1	33	28	38	22
731	ET	HVZ	Markdorf	Friedrichshafen	60	24	15	6	15	**1**	**1**	0	1	18	42	57	03
								Total		**17**	**22**						
								inkl. Reserve (+10%)			**25**						

W_A	Wendezeit im Anfangspunkt
R_{A-E}	Reisezeit Anfangs- bis Endpunkt
W_E	Wendezeit im Endpunkt
R_{E-A}	Reisezeit End- bis Anfangspunkt
11	Durchgebundene Umläufe

Anhang 10.4

Umläufe Zielkonzept+

Linie		Prod.	Anfangspunkt (A)	Endpunkt (E)	Takt	W_A Min.	R_{A-E} Min.	W_E Min.	R_{E-A} Min.	**Umläufe**	**Anzahl ET / VT**	Anz. Uml. DT	ET	Anfangspun an	Anfangspun ab	Endpunkt an	Endpunkt ab
730	ET	IRE	Basel	Singen	30	26	73	*7*	74	**6**	**6**	0	1	32	28	41	18
730	ET	RB	Basel	Waldshut	30	14	50	7	49	**4**	**4**	0	1	52	06	56	03
730	ET	RB	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	09	50	11	49
730	ET	HVZ	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	8	20	**2**	**2**	0	1	24	35	56	04
731	ET	IRE	Singen	Friedrichshafen	120	*85*	50	57	48	**2**	**2**	0	1	17	42	32	29
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	14	66	*5*	65	**1.25**	**1.25**	0	1	53	07	13	48
731	ET	RB	Singen	Friedrichshafen	120	55	70	*14*	71	**1.75**	**1.75**	0	1	33	28	38	22
731	ET	HVZ	Markdorf	Friedrichshafen	60	24	15	6	15	**1**	**1**	0	1	18	42	57	03
								Total		**20**	**20**						
								inkl. Reserve (+10%)			**22**						

W_A Wendezeit im Anfangspunkt
R_{A-E} Reisezeit Anfangs- bis Endpunkt
W_E Wendezeit im Endpunkt
R_{E-A} Reisezeit End- bis Anfangspunkt
11 Durchgebundene Umläufe

Anhang 10.5

Umläufe Vorstufe Variante IV

Linie	Typ	Prod.	Anfangspunkt (A)	Endpunkt (E)	Takt	W_A Min.	R_{A-E} Min.	W_E Min.	R_{E-A} Min.	**Umläufe**	**Anzahl ET / VT**	Anz. Uml. DT	ET	Anfangspun an	Anfangspun ab	Endpunkt an	Endpunkt ab
730	ET	IRE	Basel	Singen	60	58	72	37	73	**4**	**5**	1	1.25	31	29	41	18
730	ET	RB	Basel	Waldshut	60	15	50	6	49	**2**	**2**	0	1	52	07	57	03
730	ET	RB	Basel	Erzingen	60	15	68	29	68	**3**	**6**	3	2	22	37	45	14
730	ET	RB	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	6	22	**2**	**2**	0	1	09	50	11	47
730	ET	HVZ	Erzingen	Schaffhausen	30	11	21	6	22	**2**	**2**	0	1	24	35	56	02
731	VT611	IRE	Singen	Friedrichshafen	120	114	42	41	43	**2**	**4**	2	2	03	57	39	20
731	RS1	RB	Singen	Friedrichshafen	120	16	67	*1*	66	**1.25**	**2.25**	1	1.8	52	08	15	46
731	RS1	RB	Singen	Friedrichshafen	120	52	74	*8*	76	**1.75**	**1.75**	0	1	35	27	41	19
731	RS1	HVZ	Markdorf	Friedrichshafen	60	22	15	8	15	**1**	**1**	0	1	19	41	56	04
								Total		**19**	**26**						
								inkl. Reserve (+10%)			**29**						

W_A	Wendezeit im Anfangspunkt
R_{A-E}	Reisezeit Anfangs- bis Endpunkt
W_E	Wendezeit im Endpunkt
R_{E-A}	Reisezeit End- bis Anfangspunkt
11	Durchgebundene Umläufe

Elektrifizierung Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn

Teil B1 – Kostenschätzung Hochrheinstrecke

ECH-105.04-001
Version 2.0

Auftraggeber:

NVBW mbH
Wilhelmsplatz 11
70182 Stuttgart
Deutschland

Herausgeber:

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 (0)33 346 66 11
Fax +41 (0)33 346 66 12
e-mail: info@enotrac.com
www.enotrac.com

Freigegeben
27.05.09
ECH-105.04-001.V2.0.DB_Hochrhein_Elektrifizierung.doc

© ENOTRAC AG

Aktuelle Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
2.0	27.05.09	Freigegeben	H. Voegeli	R. Schär	H. Voegeli

Vorherige Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1.0	07.04.09	Freigegeben	H. Voegeli	R. Schär	H. Voegeli

Änderungen seit der vorherigen Version

Urheberrecht

Für dieses Dokument und den darin dargestellten Gegenstand behalten wir uns alle Rechte vor. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts sind ohne schriftliche Zustimmung verboten. © ENOTRAC AG

Der Auftraggeber wird hiermit ermächtigt, den vorliegenden Bericht an andere Amtsstellen, Behörden, politische Gremien und an DB/SBB weiter zu geben, sofern dies in Zusammenhang mit dem Elektrifizierungsprojekt Hochrheinstrecke steht.

Bookmarks

Projekttitel	ProjTitle1	Elektrifizierung Hochrheinstrecke und
	ProjTitle2	Bodensee-Gürtelbahn
Berichttitel	DocTitle1	Teil B1 – Kostenschätzung Hochrheinstrecke
	DocTitle2	
	DocTitle3	
Berichtnummer	DocNumber	ECH-105.04-001
Auftraggeber	ClientName	NVBW mbH
	ClientAddr	Wilhelmsplatz 11 70182 Stuttgart Deutschland
Logos	EnoLogoHeader	ENOTRAC
	ClientLogo1Header	sh.ch
	ClientLogo2Header	NVBW

Inhalt:

1	**Einleitung, Ausgangslage**	**4**
2	**Zusammenfassung**	**5**
3	**Grobkonzept für die Elektrifizierung**	**7**
3.1	Elektrische Umsysteme und Rahmenbedingungen	7
3.2	Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung	10
3.2.1	Einspeisungen	10
3.2.2	Oberleitung und Speiseleitung	14
3.2.3	Schaltapparate	15
3.2.4	Leittechnik	15
3.2.5	Anpassungen an Bauten	15
3.2.6	Nichtionisierende Strahlung	16
4	**Kostenschätzung**	**18**
4.1	Einheitspreise	18
4.1.1	Statische Umrichter	18
4.1.2	Oberleitung und Speiseleitung	18
4.1.3	Schaltapparate	20
4.1.4	Leittechnik	20
4.1.5	Erschwernisse für die Erstellung	20
4.1.6	Anpassungen an Bauten	21
4.1.7	Massnahmen wegen nichtionisierender Strahlung	21
4.1.8	Projekt Engineering	21
4.2	Mengengerüst und Gesamtkosten	21
5	**Referenzen**	**29**

© ENOTRAC AG

1 EINLEITUNG, AUSGANGSLAGE

Die Hochrheinstrecke der Deutschen Bahn AG (DB AG) verbindet Basel mit Schaffhausen. Die Strecke ist 93,7 km lang, sie verläuft rund 75 km auf deutschem und 18 km auf schweizer Gebiet. Die Strecke ist heute nicht elektrifiziert. Das Verkehrsingenieurunternehmen SMA und Partner AG aus Zürich untersucht im Auftrag des Landes Baden-Württemberg und des Kantons Schaffhausen, bzw. der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (NVBW) die Möglichkeiten und Vorteile eines elektrischen Betriebs auf dieser Strecke [1]. Dazu werden verschiedene Betriebsszenarien erarbeitet.

Teil dieser Studien ist auch die Ermittlung der Investitionskosten in die Infrastruktur bei einer Elektrifizierung. Für diese Kostenermittlung wurde ENOTRAC AG als spezialisiertes Elektro-Ingenieurbüro für Eisenbahntechnik beigezogen. Die Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung aufgrund des zu führenden Betriebs und die Kostenermittlung ist Gegenstand des vorliegenden Berichts.

Zur Bestimmung der Investitionskosten wurde wie folgt vorgegangen:

- Erfassen und Einschätzen der Situation
- Rahmenbedingungen für die Streckenspeisung ermitteln, nötige Netztrennungen definieren
- Konzept für die Streckenspeisung (Einspeisungen) erarbeiten
- Definition der Oberleitungsanlage
- Verifikation des Speisekonzepts, Beurteilung der örtlichen Gegebenheiten, Berechnung der Spannungsstabilität und Stromtragfähigkeit, Variantenstudien für die Netztrennung, Überarbeitung des Speisekonzepts
- Mengengerüst erstellen
- Ermittlung der Einheitskosten
- Berechnung der Gesamtkosten.

Für die Kostenermittlung mussten die Energieversorgung, die elektrischen Anlagen und die Oberleitungsanlage technisch bereits recht konkret bestimmt werden.

© ENOTRAC AG

2 ZUSAMMENFASSUNG

An den beiden Enden der Hochrheinstrecke in Basel und in Schaffhausen sind die übrigen dort zusammenlaufenden Strecken mit dem in Deutschland und in der Schweiz üblichen Bahnstromsystem 15 kV 16.7 Hz elektrifiziert. Bei einer Elektrifizierung der Hochrheinstrecke kann diese an die elektrifizierten Nachbarstrecken angeschlossen werden.

Die Energieversorgungen der DB und der SBB sind auf Oberleitungsebene grundsätzlich nicht miteinander verbunden. An den Landesgrenzen sind die beiden Oberleitungsnetze durch Schutzstrecken von einander getrennt.

Zwischen Basel und Schaffhausen gibt es keine Bahnstrom Hochspannungs-Übertragungsleitung (110 kV DB oder 132 kV SBB, 16.7 Hz). Daher besteht auch keine Möglichkeit, für die Hochrheinstrecke eine Zwischeneinspeisung ab 16.7 Hz-Netz zu bauen. Eine Zwischeneinspeisung ist aber erforderlich. Das erarbeitete Speisekonzept sieht dafür einen statischen Umrichter in Tiengen vor, so dass der Abschnitt Basel – Tiengen zweiseitig ab diesem und dem bestehenden Unterwerk Haltingen gespeist wird. Ein statischer Umrichter generiert aus dem 50 Hz Landesnetz 16.7 Hz Bahnstrom. Im Raum Erzingen ist die erforderliche Schutzstrecke vorgesehen; bis dahin speist der Umrichter Tiengen die Strecke einseitig im Stich.
Vom Unterwerk Haltingen, das etwa 7 km nördlich von Basel Bad Bf liegt, ist eine neu zu bauende Speiseleitung bis zur Streckenspeisung in Basel erforderlich.

Auf schweizer Seite wird der Raum Schaffhausen von den Unterwerken Etzwilen, Grüze und Eglisau gespeist. Diese liegen allerdings je ca. 17 bis 32 km von Schaffhausen entfernt. Wenn der Abschnitt Schaffhausen – Erzingen elektrisch mit einer Speisung ab dem bestehenden Fahrleitungsnetz in Schaffhausen betrieben wird, so ist auf diesem keine genügende Oberleitungsspannung sichergestellt. Es braucht dazu eine zusätzliche Netzspeisung im Raum Schaffhausen. Im Speisekonzept wird hierfür ebenfalls ein neu zu bauender statischer Umrichter vorgesehen (allenfalls genügt ein Phasenschieber zur Spannungsstützung).

Mit diesem Versorgungskonzept kann für die ganze Hochrheinstrecke eine ausreichende Oberleitungsspannung erreicht werden. Für die Untersuchung von Ausfallszenarien und zur definitiven Leistungsbemessung sollten in der nächsten Projektphase Lastberechnungen mittels Netzsimulationen durchgeführt werden.

Als Oberleitung wird von einem Regeltyp Re160 bzw. Re200 der DB AG ausgegangen. Das Kettenwerk pro Gleis besteht aus einem Fahrdraht Ri 100 und einem Tragseil Bz II 50. Zur Verbesserung der Leitungsimpedanz ist zusätzlich an den Masten je Gleis ein Rückleiterseil 95 mm^2 Cu vorgesehen. Auf dem Einspurabschnitt wird die Oberleitung verstärkt durch eine parallele Hilfsleitung oder Verstärkungsleitung 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St.

Die Stromtragfähigkeit des vorgeschlagenen Kettenwerks ist für die auftretenden Belastungen ausreichend.

Bei den drei Tunneln bestehen für den Einbau der Oberleitung sehr enge Platzverhältnisse. Es wird davon ausgegangen, dass deshalb eine Deckenstromschiene vorgesehen werden muss. Für den Rappensteintunnel ist aufgrund von Profilaufnahmen zu befürchten, dass der erforderliche Stromabnehmerraum auf mindestens $^2/_3$ seiner Länge nicht ausreicht und daher das Gewölbe erweitert werden muss (wegen der festen Fahrbahn ist ein Absenken der Sohle hier nicht möglich). Allenfalls lässt sich das Problem damit lösen, dass keine DB-Stromabnehmerwippen sondern nur die schmaleren Europawippen zugelassen werden.

© ENOTRAC AG

Der Aarbergtunnel ist für Doppelspur ausgebrochen, jedoch nur mit einem Gleis ausgerüstet. Auch hier ist mit der heutigen Gleisachse der Platz im Gewölbe nicht ausreichend. Es könnte allenfalls das Gleis in die Tunnelmitte verschoben werden, um so den nötigen Stromabnehmerraum zu schaffen. Beim Charlottenfelstunnel wurde in den 70-er Jahren die Sohle um 0.85 m abgesenkt. Im April 2009 wird der Tunnel neu vermessen, wonach sich der Einbau der Oberleitung beurteilen lässt. Verbindliche Aussagen zum Einbau der Oberleitung in den Tunneln sind auf jeden Fall erst nach detaillierten Abklärungen möglich.

Das für die Elektrifizierung erforderliche Material wurde zusammengestellt und für die Hochrheinstrecke ein Mengengerüst erstellt. Darin enthalten sind

- 3 statische Umrichterblöcke 50/16.7 Hz
- 171.8 Kilometer Oberleitung
- 3 Schutzstrecken, 16 Spurwechsel- und 16 Weichenbespannungen
- 7 Kilometer Speiseleitung
- 2 Leistungsschalter mit Fahrleitungsschutz
- 74 Lasttrennschalter
- 23 Anbindungen an die Leittechnik

Für diese Anlagen, welche die gesamte Hochrheinstrecke Basel – Schaffhausen umfassen, resultieren geschätzte Kosten von EUR 79.5 Mio.

Die Erstellung dieser Anlagen wird unter Bahnbetrieb erfolgen, was gegenüber einer Neubaustrecke zu einer beträchtlichen Erschwernis führt, welche sich auch in den Kosten niederschlägt. Für die streckenseitige Ausrüstung (also exklusive statische Umrichter) wurde für diese Erschwernis ein Zuschlag von 30 % eingesetzt, was EUR 16 Mio. ausmacht.

Die Projektierung, das Engineering, die Bewilligungsverfahren sowie Diverses wurden mit insgesamt 15 % veranschlagt.

Damit resultieren geschätzte Gesamtkosten von EUR 110.5 Mio. (exkl. MWST).

Die Kostenschätzung enthält zusätzlich zur aktuellen Schätzungsgenauigkeit relativ grosse Unsicherheitsfaktoren was die Rohstoffpreise anbelangt. Allein in den vergangenen 2 Jahren haben sich die Kupferpreise vorübergehend nahezu verdreifacht. Auch die Stahlpreise haben enorme Ausschläge erfahren. Da ein beträchtlicher Teil der Anlagenkosten sehr direkt von den Rohstoffpreisen von Kupfer, Eisen und Stahl abhängt, können die kalkulierten Kosten nur mit einem entsprechenden Vorbehalt verwendet werden. Dieser Vorbehalt kann bis zu einer Unsicherheit von +20…+40 % reichen. Diese Unsicherheit wird man aber immer haben, selbst bei der Ausarbeitung eines detaillierten Bauprojekts.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Kostenschätzung keine baulichen Anpassungen an den Tunneln enthält. Mit solchen ist aber zu rechnen und sie dürften sich auf einen namhaften Betrag belaufen. Demgegenüber dürften für den Immissionsschutz aufgrund der elektromagnetischen Felder (NIS) wohl kaum wesentliche finanzielle Folgen entstehen.

Die Elektrifizierung der Strecke Schaffhausen – Erzingen ist Bestandteil des Agglomerationsprogramms 'Schaffhausen plus' und die Chancen stehen gut, dass das Projekt in den nächsten Jahren umgesetzt werden wird. Demgegenüber ist eine Umsetzung der Elektrifizierung auf dem deutschen Streckenteil weniger konkret. Es interessieren daher auch die auf die beiden Abschnitte aufgeteilten Kosten. Für die Strecke Schaffhausen – Erzingen werden die Anlagenkosten auf EUR 20 Mio., mit dem Erschwerniszuschlag auf EUR 24 Mio. und zusammen mit der Projektierung auf EUR 27.5 Mio. geschätzt. Die analogen Kosten für den Abschnitt Basel – Erzingen betragen EUR 59.5 Mio., EUR 72 Mio. und EUR 83 Mio.

© ENOTRAC AG

3 GROBKONZEPT FÜR DIE ELEKTRIFIZIERUNG

3.1 Elektrische Umsysteme und Rahmenbedingungen

Die Hochrheinstrecke verläuft von Basel Bad Bahnhof bis nach Schaffhausen. An den beiden Enden in Basel und in Schaffhausen sind die übrigen dort zusammenlaufenden Strecken mit dem in Deutschland und in der Schweiz üblichen Bahnstromsystem 15 kV 16.7 Hz elektrifiziert. Bei einer Elektrifizierung der Hochrheinstrecke kann diese an die elektrifizierten Nachbarstrecken angeschlossen werden.

Die Energieversorgungen der DB und der SBB sind auf Oberleitungsebene grundsätzlich nicht miteinander verbunden. An den Landesgrenzen sind die beiden Oberleitungsnetze durch Schutzstrecken von einander getrennt. Dadurch wird vermieden, dass über die Oberleitung unerwünschte Ausgleichsströme zwischen den beiden Netzen fliessen. Der Energieaustausch zwischen der DB und der SBB geschieht auf der Hochspannungsebene (110 bzw. 132 kV), wo auch die Energiemessung erfolgt.

Zwischen Basel und Schaffhausen gibt es keine Bahnstrom Hochspannungs-Übertragungsleitung (16.7 Hz). Daher besteht auch keine Möglichkeit, für die Hochrheinstrecke eine Zwischeneinspeisung ab 16.7 Hz-Netz zu bauen.

Die der Hochrheinstrecke nächstgelegenen Bahnstromunterwerke (UW) sind

- UW Haltingen der DB, ca. 7 km nördlich Basel Bad Bf
- UW Etzwilen, Grüze und Eglisau der SBB, je ca. 17 bis 32 km von Schaffhausen entfernt
- UW Stein-Säckingen der SBB auf der schweizer Seite des Rheins
- Elektrifizierter Streckenabschnitt der SBB Koblenz - Waldshut

Die Hochrheinstrecke gehört der DB Netz AG. Es wird daher davon ausgegangen, dass diese Strecke mit einer Oberleitung nach DB-Regeln auszurüsten ist. Die Maximalgeschwindigkeit Vmax beträgt 160 km/h. Der Abschnitt Beringen – Erzingen soll auf Doppelspur ausgebaut werden. Es ist naheliegend, dass eine Elektrifizierung zusammen mit dem Doppelspurausbau erfolgen wird. Die Elektrifizierung auf der schweizer Seite würde also durchgehend eine 2-gleisige Strecke betreffen. Auf deutscher Seite bleibt der Abschnitt Waldshut – Erzingen 1-gleisig.

Für das Betriebskonzept wurden durch die Verkehrsingenieure der SMA und Partner AG verschiedene Fahrplanentwürfe erarbeitet [1]. Die Variante 3 wurde zum Zielkonzept weiter entwickelt. Da eine Bahnstromversorgung auch verschiedenen Betriebsvarianten genügen sollte (ein Betriebskonzept kann sich auch mal ändern), wurde zusätzlich auch die Variante 1 als Grundlage für die Dimensionierung der Netzspeisung mit verwendet. Die Stabilität der Oberleitungsspannung wird sehr stark durch die Gleichzeitigkeit von grossen Leistungsbezügen bestimmt. Auch daher ist es sinnvoll, verschiedene Betriebskonzepte mit unterschiedlichen Zuglagen bei den Betrachtungen mit einzubeziehen. Bei der Variante 1 entstehen Zuglagen, die für die Bahnstromversorgung zum Teil härtere Bedingungen darstellen als dies bei der Variante 3 der Fall ist.

© ENOTRAC AG

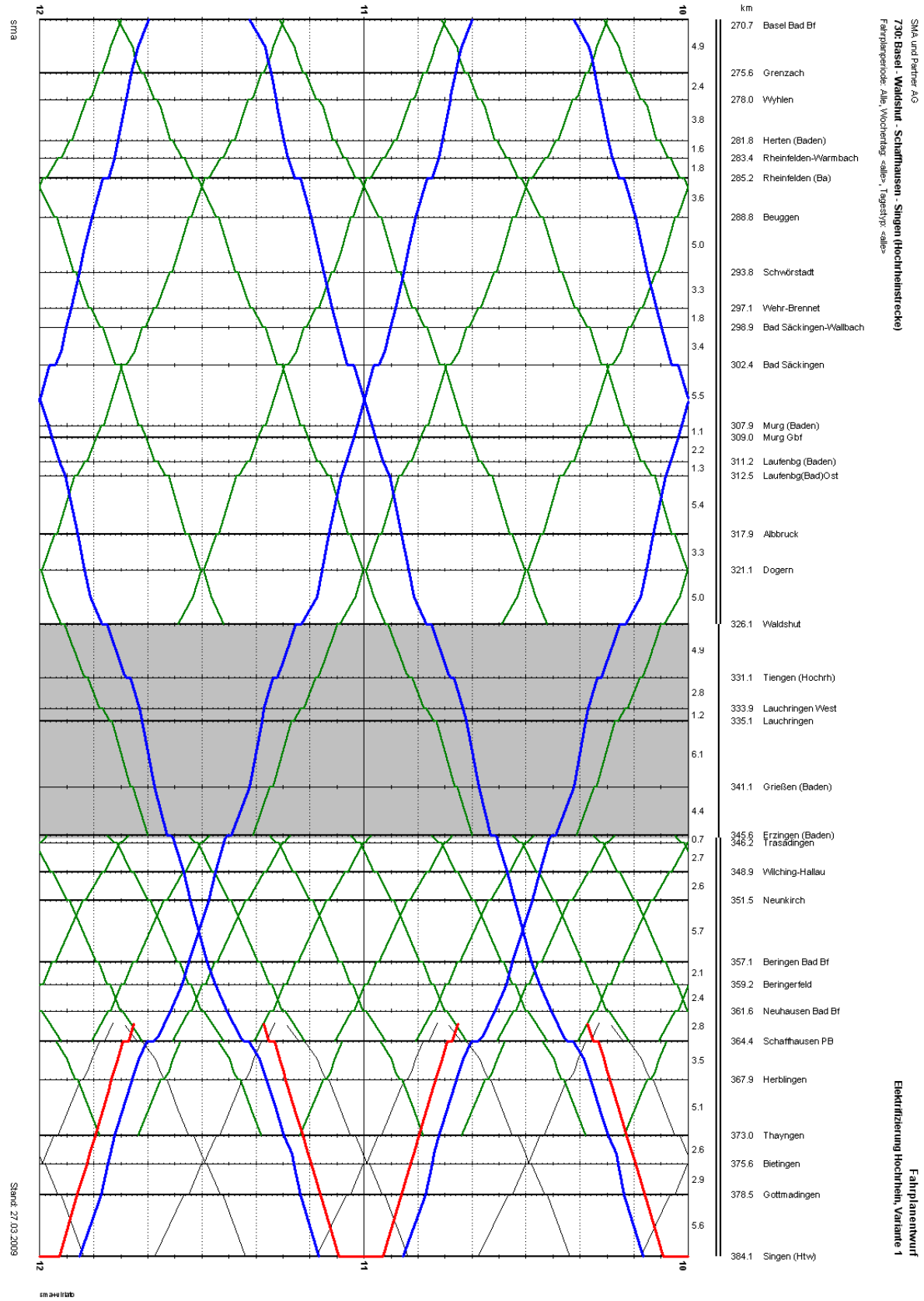


Abbildung 1: Bildfahrplan Betriebsvariante 1 zwischen Basel Bad Bf und Singen

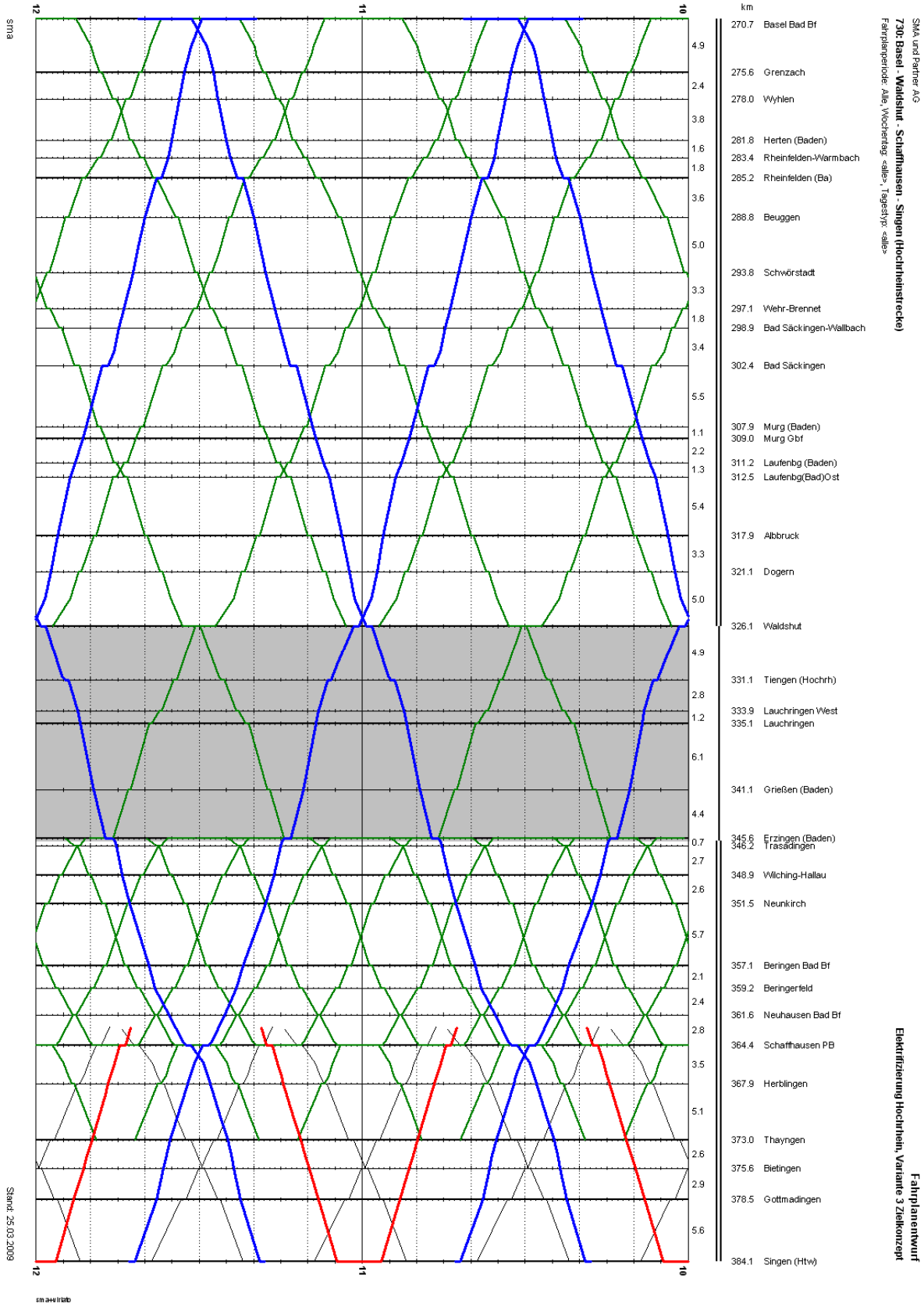


Abbildung 2: Bildfahrplan Betriebsvariante 3 zwischen Basel Bad Bf und Singen (Zielkonzept)

Als elektrisches Triebfahrzeug wurde für die Hochrheinstrecke ein 4-teiliger Flirt als Basis genommen. Dieses Fahrzeug deckt gemäss den Verkehrsplanern das erwartete Fahrgastaufkommen (zum Teil in Doppeltraktion) [1]. Der Flirt weist eine relativ hohe installierte Leistung auf, was sich entsprechend auf die Fahrstromversorgung auswirken kann.

Den einzelnen Fahrplantrassen wurden die folgenden Zugkompositionen zugeordnet.

- Interregio-Express Basel – Schaffhausen (- Singen): Flirt in Doppeltraktion
- Regionalbahn Basel – Erzingen: Flirt in Doppeltraktion
- Regionalbahn Schaffhausen – Erzingen: Variante Einfachtraktion Flirt
Variante Flirt in Doppeltraktion

Abbildung 3: SBB-FLIRT der Region Basel

3.2 Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung

Im Rahmen dieser Studie galt es die Fahrstromversorgung soweit zu konzipieren und zu dimensionieren, dass ein Mengen- und Kostengerüst erstellt werden konnte. Simulationen und Lastberechnungen, wie sie spätestens im Rahmen eines Vorprojekts üblich sind, wurden nicht durchgeführt. Es galt die Belastungen und Spannungsverhältnisse soweit abzuschätzen, dass das gewählte Speisekonzept den Anforderungen genügen sollte. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Spannungshaltung, insbesondere auf schweizer Seite, recht problematisch wird, sofern nicht eine neue zusätzliche Einspeisung im Raume Schaffhausen gebaut wird. Die in diesem Bericht beschriebene, auf Erfahrung und Überschlagsrechnungen basierend ausgelegte Fahrstromversorgung, sollte in einem nächsten Schritt mittels Simulationen noch verifiziert werden. Mit dazu gehören die Untersuchung von Ausfallszenarien und die endgültige Leistungsbemessung der Anlagen.

3.2.1 Einspeisungen

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, kann die Fahrstromversorgung der Hochrheinstrecke in Basel Bad Bf und Schaffhausen mit den bestehenden Fahrstromanlagen verbunden werden. Es ist jedoch

© ENOTRAC AG

undenkbar, die gesamte Strecke von nahezu 100 Kilometern nur von diesen beiden Orten zu speisen. Im Übrigen ist davon auszugehen, dass die Fahrstromversorgungen von DB und SBB durch eine Schutzstrecke getrennt werden müssen. In einem ersten Ansatz wird diese Schutzstrecke westlich von Erzingen vorgesehen. Mit diesem Ansatz wird der vorgesehenen Etappierung Rechnung getragen: In einem ersten Schritt soll der Abschnitt Schaffhausen – Erzingen elektrifiziert werden.

Mit dieser Aufteilung muss auf deutschem Gebiet eine Strecke von 75 Kilometern gespeist werden. Eine einseitige Speisung ab Basel ist nicht denkbar, es braucht eine zusätzliche Einspeisung. Dazu bietet sich an, in Tiengen einen statischen Umrichter zu bauen. Mit einem statischen Umrichter wird 50 Hz Energie ab Landesnetz in 16.7 Hz Bahnstrom umgeformt. In Tiengen bestehen Anschlussmöglichkeiten an das 50 Hz Landesnetz. Bei km 330.000 befindet sich eine Hochspannungsschaltanlage, an die ein Umrichter angeschlossen werden könnte. Bis hierhin eine Bahnstrom-Übertragungsleitung zu bauen und damit ein Bahnunterwerk zu speisen, dürfte nahezu unmöglich sein. Die Bewilligungsverfahren für neue Übertragungsleitungen sind wegen der zu erwartenden Opposition höchst aufwändig und dürften Jahre wenn nicht Jahrzehnte dauern, wobei der Ausgang ungewiss ist. Aber auch technisch lässt sich der Aufwand für eine solch lange Übertragungsleitung im Vergleich zu einer Umrichterlösung nicht rechtfertigen.

Mit einem statischen Umrichter in Tiengen kann der Abschnitt Basel – Tiengen zweiseitig und der Abschnitt Tiengen – Erzingen im Stich gespeist werden. Auf der Basler Seite kann die Speisung ab dem bestehenden DB-Unterwerk Haltingen erfolgen. Hier ist sogar Platz für das erforderliche, zusätzliche Schaltfeld vorhanden. Das UW Haltingen liegt rund 7 km nördlich von Basel Bad Bf. Somit muss vom Unterwerk bis zur Streckenspeisung eine rund 7 km lange Speiseleitung gebaut werden. Diese dürfte entlang dem bestehenden Bahntrassee der Strecke Freiburg – Basel errichtet werden können.

Mit dieser Lösung entsteht eine totale Leitungslänge (Speise- und Oberleitung) zwischen den beiden Einspeisungen von rund 65 km. Die ab Tiengen im Stich gespeiste Strecke bis Erzingen beträgt rund 15 km. Eine derart aufgeteilte Fahrstromversorgung erfüllt die Anforderungen. Mit dem vorgegebenen Betriebskonzept resultieren zwischen Basel und Tiengen im Extremfall Spannungsabfälle auf der Oberleitung von rund 2.3 kV, in Richtung Erzingen von rund 1 kV.

Eine alternative Speisung der Strecke ab dem schweizerischen 16.7 Hz Übertragungsleitungsnetz wäre an sich im Raum Bad Säckingen möglich. In Stein-Säckingen befindet sich ein Unterwerk der SBB, von wo die 132 kV mit einer Kabelverbindung ans deutsche Rheinufer gebracht werden könnten. Als weitere Alternative wäre auch ab dem SBB-Unterwerk Stein-Säckingen eine Speisung mit 15 kV denkbar. Diese Varianten werden in der vorliegenden Studie nicht weiterverfolgt, weil der Einspeiseort relativ ungünstig liegt. Es entstünden damit ein 2-seitiger Speiseabschnitt von nur 40 km Leitungslänge und eine Stichspeisung von über 40 km, was eindeutig zu lang wäre. Es müsste die Schutzstrecke im Raume Waldshut vorgesehen werden, was wiederum zu Problemen bei der Streckenspeisung des östlichen Streckenteils führen würde.

© ENOTRAC AG

Abbildung 4: Raum Basel mit Badischem Bahnhof, dem Unterwerk Haltingen und der erforderlichen Speiseleitung bis zur Streckenspeisung (rot)

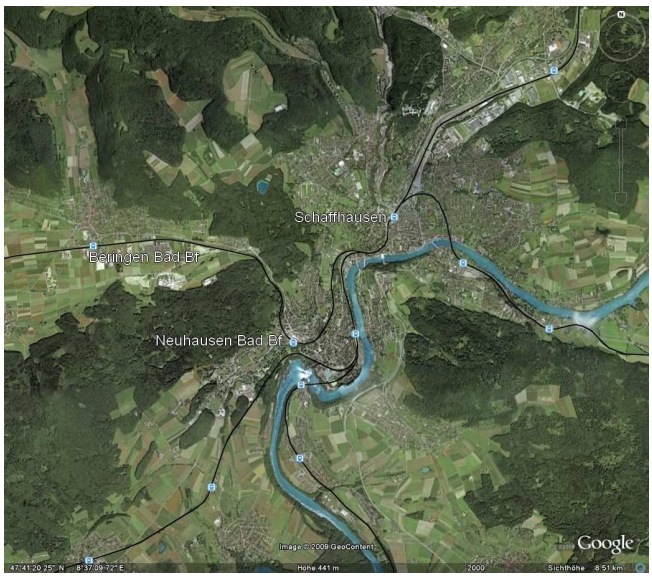


Abbildung 5: Eisenbahnstrecken im Raum Schaffhausen

Auf der schweizer Seite muss, mit einer Schutzstrecke in Erzingen und bei einer Vorab-Elektrifizierung, der Abschnitt Schaffhausen – Erzingen im Stich ab Schaffhausen gespeist werden. Der Raum Schaffhausen selbst wird über die drei Unterwerke Etzwilen, Grüze und Eglisau über die jeweiligen Streckenoberleitungen versorgt. Da Schaffhausen von diesen Unterwerken doch einige Kilometer entfernt liegt, führt die Leistungsübertragung bis Schaffhausen bereits zu einem beträchtlichen Spannungsabfall, selbst bei einer Parallelspeisung der drei Unterwerke. Berechnungen haben gezeigt, dass die Spannung auf dem Abschnitt Schaffhausen – Erzingen alleine durch den Betrieb auf dieser Strecke, um bis 2.7 kV bei Einfachtraktion und bis 3.8 kV bei Doppeltraktion abfällt. Dabei ist noch keine Belastung des Verkehrs auf den übrigen nach Schaffhausen führenden Strecken berücksichtigt. Wird von einer Leerlaufspannung der Unterwerke von 16 kV ausgegangen, so resultiert alleine durch den Verkehr auf den bestehenden elektrifizierten Strecken eine Oberleitungsspannung in Schaffhausen, die kaum über 15 kV liegen dürfte. Kommen nun noch die Spannungsabfälle durch den elektrischen Betrieb auf der Hochrheinstrecke dazu, so resultieren Oberleitungsspannungen von 12.3 kV oder gar 11.2 kV. Auch im Raum Schaffhausen wird dann die Oberleitungsspannung nur noch etwa 14 kV betragen.

Aufgrund der präsentierten Ergebnisse kann die Hochrheinstrecke auf schweizer Seite nicht ohne zusätzliche Spannungsstütze von Schaffhausen her bis Erzingen versorgt werden. An sich besteht die Möglichkeit, die Schutzstrecke von Erzingen weiter nach Osten zu verschieben. Dies würde eine Lastverschiebung von Schaffhausen zum Umrichter Tiengen zur Folge haben. Berechnungen zeigen, dass damit allenfalls ein Kompromiss gefunden werden könnte. Da aber die Strecke Schaffhausen – Erzingen elektrifiziert werden soll, bevor der Umrichter Tiengen und die anschliessende Oberleitung bis Erzingen zur Verfügung steht, löst auch ein optimierter Standort der Schutzstrecke das Problem nicht.

Fazit: Im Raume Schaffhausen muss die Spannung durch eine geeignete Massnahme gestützt werden. Eine solche Massnahme kann sein:

– Bau eines neuen Unterwerks

– Bau eines statischen Umrichters

– Bau eines Phasenschiebers

im Raume Schaffhausen.

Der Bau eines neuen Unterwerks ist mit dem Bau einer neuen 16.7 Hz Übertragungsleitung nach Schaffhausen verknüpft. Neue Übertragungsleitungen sind heutzutage relativ schwierig zu realisieren (Bewilligungsverfahren). Allenfalls könnte eine solche als Kombileitung entlang einem SBB-Bahntrasse gebaut werden. Ein Umrichter oder ein Phasenschieber hingegen dürfte innerhalb vernünftiger Zeit realisierbar sein. Es macht daher Sinn, im Rahmen der Studie diesen Ansatz zu verfolgen.

Mit einem Umrichter oder Phasenschieber kann die Oberleitungsspannung in Schaffhausen auf 16 kV stabilisiert werden. Dadurch dürfte die Spannung bis Erzingen höchstens noch bis 14 kV fallen. Die resultierende Stromtragfähigkeit der Leitungen wird in Kapitel 0 beurteilt.

Damit resultiert für die Hochrheinstrecke das folgende Speisekonzept:

– Seite Basel Anschluss an das bestehende Unterwerk Haltingen über eine neu zu bauende Speiseleitung

– Neuer statischer Umrichter in Tiengen

– Schutzstrecke in Erzingen, ob westlich oder östlich davon ist zu gegebener Zeit noch zu evaluieren (aus Sicht Netzspeisung wäre östlich wohl besser, aus betrieblicher Sicht und für die Verrechnung der Energiekosten könnte ein Standort westlich von Erzingen von Vorteil sein)

– Seite Schaffhausen Anschluss an das bestehende Oberleitungsnetz der SBB

– Neuer statischer Umrichter oder Phasenschieber im Raum Schaffhausen.

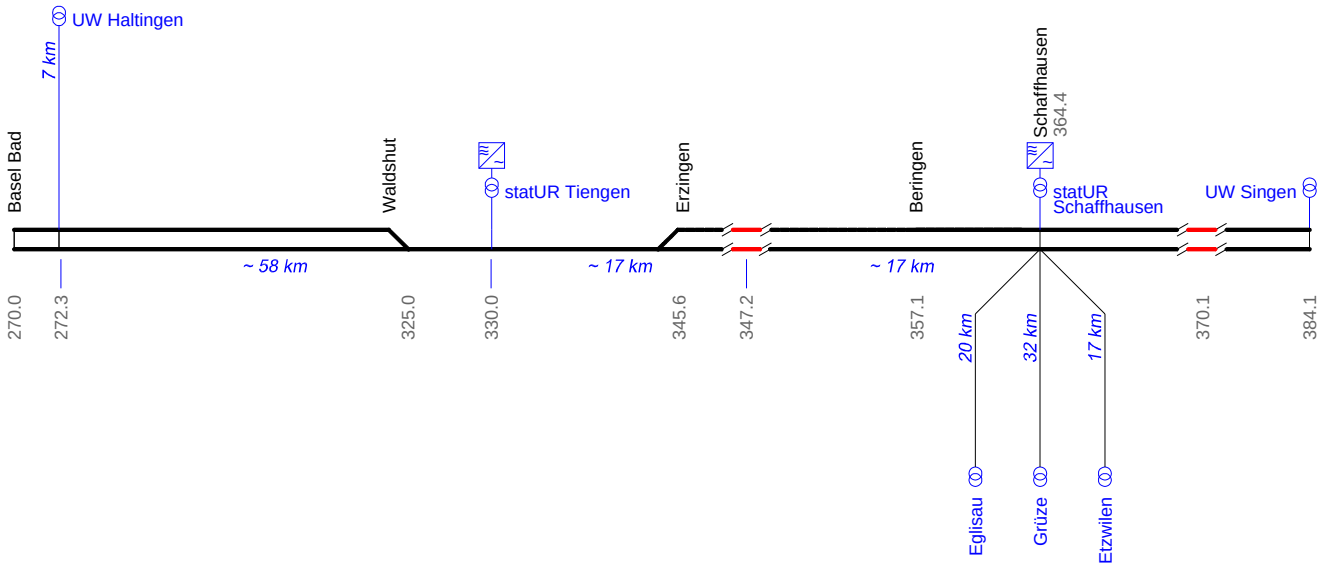


Abbildung 6: Speisekonzept für die Hochrheinstrecke

Mit diesem Konzept wird die Versorgung der Hochrheinstrecke bei normalem Netzzustand sichergestellt. Im Rahmen dieser Studie nicht näher untersucht wurden allfällige Ausfallszenarien. Hierzu müssten von Seiten Betreiber die diesbezüglichen Anforderungen definiert werden. Als

mögliche Ausfallszenarien stehen Totalausfälle von Einspeisung im Vordergrund. Aufgrund einer ersten Einschätzung dürften mit diesem Speisekonzept auch gewisse Ausfälle durchaus zu beherrschen sein. In den als Grundlage für die Dimensionierung der Fahrstromversorgung verwendeten Bildfahrplänen sind keine Güterzüge enthalten. Diese würden in Freiräume zwischen den Regionalzügen gelegt, so wie dies auch mit den Interregio der Fall ist. Damit entstehen nicht noch zusätzliche, härtere Belastungssituationen als bereits berücksichtigt.

3.2.2 Oberleitung und Speiseleitung

Für die Oberleitung wird von einem Regeltyp der DB AG ausgegangen. Sie muss für eine Geschwindigkeit von mindestens 160 km/h ausgelegt sein. Dazu bieten sich die Typen Re160 bzw. Re200 an.

Das Kettenwerk pro Gleis besteht aus

– einem Fahrdraht Ri 100
– Tragseil Bz II 50

Zur Verbesserung der Leitungsimpedanz ist zusätzlich an den Masten je Gleis ein Rückleiterseil 95 mm^2 Cu vorgesehen. Zudem dienen die 2 bzw. 4 Fahrschienen der Stromrückleitung.

Auf dem Einspurabschnitt wird die Oberleitung verstärkt durch eine parallele Hilfsleitung oder Verstärkungsleitung 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St.

Für die Speiseleitung UW Haltingen – Streckenspeisung Basel Bad Bf wurde eine Bündelleitung 2x120 mm^2 Cu angenommen.

Die Stromtragfähigkeit des vorgeschlagenen Kettenwerks und der Speiseleitung wurde hinsichtlich der auftretenden Belastungen überprüft. Das Doppelspur-Kettenwerk weist bei voll abgenutztem Fahrdraht ein Kupferäquivalent von rund 200 mm^2 Cu auf. Als Richtgrösse lassen sich damit 10-Minutenströme von 800 A übertragen. Berechnungen zeigen, dass auf deutscher Seite Spitzenbelastungen in dieser Grössenordnung auftreten. Die zu erwartenden 10-Minutenbelastungen liegen darunter, so dass die thermischen Belastungen kein Problem darstellen werden. Auf schweizer Seite sind die spezifischen Belastungen höher. Hier ist beim Betrieb mit Flirt-Doppeltraktion im Netz mit Spitzenströmen im Bereich 1200…1300 A zu rechnen. Diese werden insbesondere durch gleichzeitige Anfahrten hervorgerufen, so dass auch hier die zulässigen 10-Minutenbelastungen noch eingehalten werden dürften. Die aufgeführten Belastungswerte beziehen sich auf ein Netzkonzept mit einer Schutzstrecke westlich von Erzingen. Sollte die Schutzstrecke weiter östlich zu liegen kommen, so würden sich die Belastungswerte auf schweizer Seite reduzieren (und diejenigen auf Deutscher Seite erhöhen). Es wird angenommen, dass die Schutzstrecke schlussendlich östlich von Erzingen zu liegen kommt, womit wegen der Doppelspur deren 2 notwendig sein werden. Zudem wird eine Schutzstrecke in die heute schon elektrifizierte Verbindungslinie Waldshut – Koblenz eingebaut werden müssen.

Wie bereits an anderer Stelle vermerkt, wurden im Rahmen dieser Studie noch keine Ausfallszenarien von Netzteilen gerechnet.

© ENOTRAC AG

3.2.3 Schaltapparate

Schaltapparate in den statischen Umrichterwerken werden hier und in den nachfolgenden Kapiteln nicht explizit aufgeführt. Sie sind Teil dieser Umrichterwerke.

Ein neuer Leistungsschalter wird im UW Haltingen benötigt werden und vermutlich einer bei der Anbindung beim Bahnhof Schaffhausen. Dazu gehören auch die nötigen Ausrüstungen für den Fahrleitungsschutz. Zusätzlich werden Lastschalter und/oder Trenner bei den Bahnhöfen, Spurwechseln und bei den Schutzstrecken benötigt. Die Schaltapparate sind Standardmaterial.

3.2.4 Leittechnik

Zur Fernsteuerung der Schaltapparate und Umrichterwerke wird eine entsprechende Leittechnik erforderlich sein. Diese dürfte in die bestehenden Fernsteuersysteme der DB und SBB integriert werden. Neue Leitstellen wird es wohl kaum brauchen. Es wird auch davon ausgegangen, dass für die Datenübertragung ein bestehendes Übertragungsnetz genutzt werden kann und somit lediglich die Steuerungselemente vor Ort, die jeweilige Ankopplung an das Datennetz und das entsprechende Engineering erforderlich sein werden.

3.2.5 Anpassungen an Bauten

Für die zu installierende Oberleitung unzureichende Streckenprofile könnten Anpassungen an bestehenden Bauten erforderlich machen. Primär besteht dieses Risiko bei Strassenüberführungen und Tunneln. Seitliche bauliche Einschränkungen bestehen für die Errichtung einer Oberleitung in der Regel nicht, bzw. es lassen sich dafür mit nicht allzu viel Aufwand Lösungen finden. Enorme Kosten verursachen hingegen Anpassungen an Überführungen, Brücken und vor allem die Vergrösserung von Tunnelprofilen. Die Erweiterung von Tunnelprofilen bzw. die Absenkung der Fahrbahn sind oftmals nicht nur hinsichtlich Kosten eine Herausforderung sondern auch hinsichtlich deren technischen Umsetzung. Detaillierte Abklärungen zu den nötigen Anpassungen an Bauten sind sehr aufwändig und es war nicht vorgesehen, solche im Rahmen dieser Studie durchzuführen. Das Zusammensuchen von gültigem Grundlagematerial zu den Bauten ist kompliziert, aufwändig und zeitintensiv, weil die Daten an verschiedenen Stellen innerhalb der DB-Organisation ausfindig gemacht werden müssen. An dieser Stelle beschränken wir uns auf eine grobe, noch relativ unverbindliche und nicht abschliessende Einschätzung der Situation. Wir haben aber versucht, allfällige Hürden zu identifizieren und wenn möglich zu beurteilen.

Anlässlich einer Führerstandsfahrt konnte eine erste optische Beurteilung der Höhe der Überführungsbauwerke vorgenommen werden. Dabei wurde der Eindruck gewonnen, dass es möglich sein sollte, eine Oberleitung unter den Brücken durchzuführen. Einzig bei einer alten Überführung etwa bei km 329.400 (Waldshut-Tiengen) scheint die lichte Höhe für eine Oberleitung ausgesprochen knapp zu sein. Selbstverständlich wird jede Überführung hinsichtlich ihrer lichten Höhe anhand von Plänen noch im Einzelnen beurteilt werden müssen.

Bei den Tunneln besteht die Befürchtung, dass es vom Platz her für die Installation einer Oberleitung knapp werden könnte. Als technischen Ausweg könnte sich allenfalls eine Deckenstromschiene anbieten. Diese benötigt in der Höhe weit weniger Platz als ein Kettenwerk. Aber auch mit einer Deckenstromschiene muss der minimale Stromabnehmerraum sichergestellt sein. In diesem Punkt bestehen ernsthafte Befürchtungen, dass es bei den engen Tunneln und insbesondere bei Doppelspur nicht reichen könnte. Da dies für das ganze Elektrifizierungsprojekt von

© ENOTRAC AG

ausschlaggebender Bedeutung ist, haben wir versucht bei DB Netz AG an die erforderlichen Angaben heranzukommen.

Rappensteintunnel (km 311.390-311.727, Murg-Laufenburg)
Im Jahr 2000 erfolgte der 2-gleisige Ausbau, mit einem Gleisabstand von 3.75 m. Die Verhältnisse waren sehr eng, so dass man sich aus Platzgründen dazu entschloss, eine feste Fahrbahn mit Y-Schwellen einzubauen.
Zum Rappensteintunnel konnten Profilaufnahmen organisiert werden [5]. In einer groben, vorläufigen Beurteilung dürfte vermutlich eine Stromschienenoberleitung eingebaut werden können. Vermutlich deshalb, weil auf den Profilen das Tunnelgewölbe nicht vollständig dargestellt ist. Für den Stromabnehmerraum wird es kritisch. Beim Nordgleis ragt das Tunnelgewölbe auf der gesamten Tunnellänge 25 bis 50 cm in den Stromabnehmerraum hinein. Beim Südgleis ragt auf rund 130 m des 337 m langen Rappensteintunnels das Gewölbe etwa 40 cm in den Stromabnehmerraum.
Bei diesem Tunnel muss das Gewölbe ziemlich sicher zusätzlich vergrössert werden. Wie viel dies genau ist, muss mit detaillierten Abklärungen ermittelt werden. Ein Absenken der Fahrbahn dürfte nicht in Frage kommen, da eine feste Fahrbahn eingebaut ist. Da diese vor noch nicht allzu langer Zeit eingebaut wurde, müsste man damals den Aspekt Elektrifizierung eigentlich auch mit berücksichtigt haben. Dieser Frage sollte DB-intern noch nachgegangen werden.
Eine Lösung des Problems ohne bauliche Anpassungen könnte allenfalls darin liegen, dass keine DB-Stromabnehmerwippen sondern nur die Europawippe zugelassen werden. Diese haben eine Breite von nur 1600 mm gegenüber einer solchen von 1950 mm der DB-Wippe. Die schweizer Wippe wäre mit 1450 mm noch weniger kritisch. Die Regio- und Interregiokompositionen müssten vermutlich für diese Strecke neu beschafft werden und könnten dann entsprechend mit einem zweiten Stromabnehmer ausgerüstet werden. Bei den freizügiger eingesetzten Güterloks würde dies zu einer gewissen betrieblichen Erschwernis führen. Andererseits verkehren bereits heute DB-Güterloks in der Schweiz und in Deutschland durchgehend.

Aarbergtunnel (km 326.783-327.136, Waldshut-Tiengen)
Der Aarbergtunnel ist ein Doppelspurtunnel, in welchem nur 1 Gleis verlegt ist. Für 2010 ist die Erneuerung des Oberbaus geplant.
Auch hier ragt das Gewölbe weitgehend in den Stromabnehmerraum hinein [6]. Das Gleis könnte allenfalls in die Tunnelmitte verschoben werden, um den nötigen Platz für die Oberleitung und den Stromabnehmer zu schaffen. Allerdings sollte dies nur getan werden, wenn ein Doppelspurausbau für die nächsten zig Jahre unrealistisch erscheint. In einer ersten Annahme gehen wir davon aus, dass sich dieser Tunnel elektrifizieren lässt, allenfalls mit einem Verschieben der heutigen Gleisachse. Detaillierte Abklärungen dazu sind noch erforderlich.

Charlottenfelstunnel (km 362.753-363.039, Neuhausen-Schaffhausen)
In den 70-er Jahren ist die Sohle um 0.85 m abgesenkt worden. Im April 2009 wird der Tunnel neu vermessen. Dann wird sich zeigen, wie der Einbau einer Oberleitung möglich ist. Die Tatsache, dass die Fahrbahn im Tunnel bereits abgesenkt worden ist lässt hoffen, dass eine Elektrifizierung möglich sein sollte.

Bei den Eisenbahnbrücken wurden die Befestigungsmöglichkeiten für die Oberleitungsmaste nicht untersucht. Es gibt auch nicht viele lange Brücken auf dieser Strecke, so dass die Brückenoberleitungen in der Kostenschätzung nicht von Bedeutung sind.

3.2.6 Nichtionisierende Strahlung

Seit 1. Februar 2000 gilt in der Schweiz die 'Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)' [3]. Darin sind Grenzwerte für die zulässige elektrische und elektromagnetische Strahlung festgelegt. Die NISV gilt auch für Eisenbahnen. Bei Eisenbahnen stellt die Einhaltung des

© ENOTRAC AG

elektrischen Feldes in der Regel kein Problem dar. Der Grenzwert des magnetischen Feldes hingegen liegt seitlich des Bahntrassees in einem Bereich bis 10…20 m Entfernung vom Bahntrassee. Bei einer Neuelektrifizierung muss der Grenzwert von 1 µT über 24 h gemittelt eingehalten werden. Die Lage dieses 1 µT Wertes ist abhängig von der Oberleitungskonstruktion, von der Lage des Gleises und den Leitern, sowie von den Strömen und deren Verteilung auf die einzelnen Leiter und das Erdreich. Die Lage dieses 1 µT Wertes ist damit direkt abhängig vom Bahnbetrieb. Im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens (Planfeststellung) muss für die Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN), dies sind Orte wo sich Menschen über längere Zeit aufhalten wie z.B. Häuser, ein NIS-Nachweis erstellt werden.

Aufgrund von Beobachtungen anlässlich einer Führerstandsfahrt und den Erfahrungen aus den durchgeführten NIS-Nachweisen wurde festgestellt, dass sich entlang der Strecke auf dem schweizer Abschnitt mögliche OMEN relativ nahe dem Bahngeleise befinden, deren NIS-Belastung zu einer späteren Planungsphase ermittelt werden muss:

– Bahnhofgebäude Wilching-Hallau;
– Bahnhofgebäude Neunkirch;
– Neunkirch Ausfahrt Ost, Nordseite des Bahntrassees, 2 Liegenschaften;
– Bahnwärterhaus bei km 356.390, je nach dem wo das neue zweite Gleis zu liegen kommt;
– Bahnhofgebäude Beringen;
– Liegenschaft bei km 359.870, Nordseite des Bahntrassees;
– Verschiedene Liegenschaften Neuhausen – Schaffhausen, vor dem Charlottenfels-Tunnel, allenfalls auch oberhalb des Tunnels.

Alle diese Liegenschaften weisen einen gewissen Abstand vom Bahntrassee auf, so dass nicht von vornherein befürchtet werden muss, dass die NISV nicht eingehalten wird. Die Grenzbelastung dürfte in etwa im Bereich der dem Bahntrassee zugewendeten Gebäudeseite liegen.

Anders sieht es bei einigen Gebäuden auf deutscher Seite aus. Hier sind einige Liegenschaften sehr nahe am Bahntrassee, so dass hier die schweizer Vorschriften mit Sicherheit nicht eingehalten würden. Nun kennt aber Deutschland derzeit keine solchen Vorschriften mit vergleichbaren Grenzwerten. In Deutschland gilt für die nichtionisierende Strahlung die 'Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)' [4]. Diese besagt für mit 16.7 Hz elektrifizierte Eisenbahnen lediglich, dass ein Immissionsgrenzwert von 300 µT eingehalten werden muss. Bei Eisenbahnen wird dieser Grenzwert nur in unmittelbarer Nähe der Oberleitung und der Schienen erreicht. Mit der heutigen Gesetzesgrundlage besteht hinsichtlich NIS für den Bau einer elektrischen Eisenbahn also keine Einschränkung. Es ist jedoch ein NIS-Gesetz (NISG) in Vorbereitung, welches ebenfalls weit schärfere Bedingungen enthalten könnte. Nähere Informationen dazu liegen selbst den sich mit NIS beschäftigenden Stellen der DB AG nicht vor.

© ENOTRAC AG

4 KOSTENSCHÄTZUNG

4.1 Einheitspreise

4.1.1 Statische Umrichter

Obwohl statische Umrichter heutzutage standardmässig hergestellt werden, bewegen sich Kosten für eine gesamte Anlage doch in einem grösseren Spektrum. Die Umrichter selbst, und auch der 16.7 Hz-Teil, sind an sich relativ genau kalkulierbar, das ganze Drumherum führt aber zu unterschiedlichen Kosten. Folgende Faktoren haben ihre Auswirkungen auf die Gesamtkosten einer Anlage:

- Leistung 50 Hz-seitig, Leistung 16.7 Hz-seitig, Trafogrössen wirken sich sehr direkt auf die Kosten aus. Falls die Umrichter schwergewichtig zur Phasenschiebung verwendet werden, sind die Primär- und Sekundärleistungen allenfalls stark unterschiedlich. Die Rohstoffpreise von Kupfer und Eisen wirken sich sehr direkt auf die Preise der Transformatoren aus.
- Anschluss an die 50 Hz-Anlage, Schaltfelder, Verbindungsleitungen, Kabelanlage.
- Verbindungsleitung vom Umrichter zur Strecke.
- Fundamente, bauliche Massnahmen, Aussen-/Innenanlage.
- Landerwerb.
- 1 Umrichterblock allein, 2 redundante Blöcke.

Die Leistungsbemessung der statischen Umrichter muss mittels Lastberechnungen und Simulationen erfolgen. Solche erlauben eine Optimierung des Gesamtsystems und vor allem auch der Grösse der Umrichter. Dabei sind mögliche Ausfallszenarien mit einzubeziehen.

Für die derzeitige Projektphase kann daher für die Umrichterblöcke nur ein pauschaler Kostenansatz eingesetzt werden. Eine verfeinerte Kostenermittlung muss in der nächsten Phase vorgenommen werden, sobald das Speisekonzept definitiv feststeht und die erforderlichen Leistungen, unter Berücksichtigung aller möglichen Betriebszustände, festgelegt sind. Für einen Umrichterblock wird ein mittlerer Kostenansatz von EUR 8 Mio. eingesetzt. Damit dürfte ein statischer Umrichterblock der Leistungsklasse 15 MVA zu realisieren sein. Diese Kostenschätzung beruht auf verschiedenen Quellen und aufgrund von in den vergangenen Jahren realisierten statischen Umrichtern. Für Tiengen werden zwei solche Blöcke und für Schaffhausen einer angenommen. Falls die Einspeisung in Tiengen ausfällt, lässt sich der elektrische Bahnbetrieb nicht mehr aufrecht halten. In Tiengen ist deshalb eine Redundanz angezeigt. Auf der schweizer Seite dürfte sich der elektrische Bahnbetrieb auch bei Ausfall der Einspeisung Schaffhausen eingeschränkt aufrecht halten lassen. Im Übrigen könnte eine zusätzliche Netztrennung näher zu Schaffhausen in einem solchen Fall ermöglichen, dass der Umrichter Tiengen einen Teil des schweizer Streckenteils speist.

4.1.2 Oberleitung und Speiseleitung

Die Basis für die Kostenberechnung bildet der Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [2]. Darin ist der Preis für 1 km Oberleitung mit EUR 178'950.-- veranschlagt. Die in der Zwischenzeit

© ENOTRAC AG

eingetretene Teuerung ist wegen den massiv gestiegenen Kupfer- und Stahlpreisen überdurchschnittlich. Sie wird hier mit rund 40 % angenommen. Die früheren DB-Oberleitungen waren nicht mit einem Rückleiterseil versehen. Für dieses Projekt wird ein solches vorgesehen, was mit zusätzlichen Kosten von EUR 15'000.-- pro km eingerechnet wird. Die Oberleitung wird über dem Gleis in einem Zickzack geführt. Dieser ist in Deutschland grösser als in der Schweiz. Welcher Zickzack letztendlich vorgesehen wird ist noch offen und im Rahmen der vorliegenden Kostenermittlung nicht relevant.

- Doppelspur-Oberleitung freie Strecke gerade

  Mit den vorgenannten Zahlen resultieren für die Oberleitung Kosten von EUR 265'000.--/km pro Gleis und damit für den Kilometer Doppelspur-Oberleitung EUR 530'000.--.

- Doppelspur-Oberleitung freie Strecke Kurve

  In Kurven wird die Fahrleitungskonstruktion etwas aufwändiger und es müssen mehr Masten gestellt werden. Dies verteuert die Oberleitung um einen gewissen Faktor. Bei der Hochrheinstrecke haben die Kurven allerdings einen recht grossen Radius, so dass ein mittlerer Faktor von etwa 1.2 angemessen sein dürfte. Damit resultieren für den Kilometer Doppelspur-Oberleitung Kosten von EUR 636'000.--.

- Doppelspur-Oberleitung Tunnel

  Es wird davon ausgegangen, dass wegen den engen Platzverhältnissen in den Tunneln eine Deckenstromschiene notwendig sein wird. Eine solche ist etwa 20 % teurer als ein Kettenwerk. Für Doppelspur werden pro Kilometer Kosten von EUR 636'000.-- eingesetzt.

- Einspur-Oberleitung freie Strecke gerade

  Das Kettenwerk ist identisch mit demjenigen der Doppelspur-Oberleitung. Zusätzlich wird eine Hilfs- bzw. Verstärkungsleitung auf den Fahrleitungsmasten montiert. Als Mehrpreis werden EUR 50'000.-- eingesetzt. Damit resultieren für den Kilometer Einspur-Oberleitung Kosten von EUR 315'000.--.

- Einspur-Oberleitung freie Strecke Kurve

  Analog zur Doppelspur-Oberleitung wird mit einen mittleren Faktor von 1.2 gerechnet. Damit resultieren für den Kilometer Einspur-Oberleitung Kosten von EUR 378'000.--.

- Einspur-Oberleitung Tunnel

  Es wird mit einer Deckenstromschiene gerechnet, die Kosten betragen wie oben aufgeführt EUR 318'000.-- pro Kilometer. Zusätzlich wird für die Hilfs- bzw. Verstärkungsleitung ein Kabel benötigt. Dieses und der erforderliche Rohrblock werden mit EUR 150'000.-- pro Kilometer budgetiert. Damit kommt der Kilometer Oberleitung mit paralleler Kabelleitung auf EUR 468'000.-- zu stehen.

- Oberleitung Bahnhof

  Im Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [2] ist für die Bahnhofsoberleitung gegenüber der freien Strecke ein Faktor 1.2 aufgeführt. Damit resultieren für den Kilometer Bahnhof-Oberleitung Kosten von EUR 318'000.--.

- Weichenbespannung, Spurwechsel

  Der Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [2] veranschlagt für die Weichenbespannung EUR 40'903,35. Da der Materialanteil an den Kosten geringer ist als bei der Oberleitung, wird mit einem Teuerungszuschlag von rund 20 % gerechnet und EUR 50'000.--

© ENOTRAC AG

eingesetzt. Bei Spurwechseln sind zwei Weichen zu bespannen, so dass etwa die doppelten Kosten entstehen. Für einen Spurwechsel wird mit Kosten von EUR 100'000.-- gerechnet.

- Schutzstrecke

  Für eine Schutzstrecke ist der Aufwand bei der Oberleitung vergleichbar mit demjenigen für einen Spurwechsel. Es wird mit dem gleichen Kostenansatz von EUR 100'000.-- gerechnet.

- Speiseleitung

  Je nachdem ob die Speiseleitung auf bestehende Masten aufgesetzt werden kann oder dafür separate, neue Masten gestellt werden müssen, können die Kosten eine grosse Bandbreite aufweisen. Eine weitere Kostenstreuung entsteht durch allenfalls erforderliche Kabelstrecken. Eine verlässliche Kostenschätzung ist daher erst im Rahmen eines Vorprojektes möglich. In dieser Studie wird mit einem mittleren Kostenansatz von EUR 150'000.-- pro Kilometer gerechnet.

4.1.3 Schaltapparate

Im Unterwerk Haltingen sowie beim Anschluss an das bestehende Fahrleitungsnetz in Schaffhausen werden je 1 Leistungsschalter mit den Geräten für den Fahrleitungsschutz vorgesehen. Bei den Umrichterwerken sind Leistungsschalter und Schutzgeräte in den Kosten der Umrichter integriert.

Bei den Spurwechseln, den Schutzstrecken und in Bahnhöfen werden Lasttrennschalter benötigt. Die erforderliche Anzahl ist im Mengengerüst eingerechnet. Es wird angenommen, dass eine elektrische Speisung für die Antriebe jeweils vor Ort vorhanden ist.

- Leistungsschalter mit Fahrleitungsschutz

  Pro Leistungsschalter mit zugehörigem Fahrleitungsschutz muss mit Kosten von EUR 100'000.-- gerechnet werden.

- Lasttrennschalter

  In den Kosten sind die Lasttrennschalter, ein elektrischer Antrieb und ein Schaltergerüst eingerechnet, wofür pro Schalter ein Betrag von EUR 15'000.-- kalkuliert wurde.

4.1.4 Leittechnik

Für die Kalkulation werden die einzelnen Ankoppelungsstellen an das Fernsteuersystem als Einheit definiert. Dazu gehören die vor-Ort-Steuerungselemente, die Ankopplung an das Datennetz, das Engineering und die Erstellung des Schaltbildes. Örtlich bei einander liegende Schaltapparate werden auf eine gemeinsame Ankoppelungsstelle geführt. Für jede solche Ankoppelungsstelle, die dezentral auf der Strecke verteilt sind, werden Kosten von EUR 35'000.-- eingesetzt.

4.1.5 Erschwernisse für die Erstellung

Es wird angenommen, dass der aktuelle Bahnbetrieb während dem Bau der gesamten Fahrleitungsanlage aufrechterhalten werden muss. Dadurch entstehen Zusatzkosten für Provisorien, Nacht- und Überzeitzuschläge, Sicherheitseinrichtungen und sonstige Erschwernisse. Dafür werden

© ENOTRAC AG

Mehrkosten von 30 % auf den Erstellungskosten (ohne Engineering, ohne Umrichterblöcke) angenommen.

4.1.6 Anpassungen an Bauten

Die nötigen Anpassungen an Tunneln sind derzeit nicht bekannt und können damit nicht beziffert werden.

4.1.7 Massnahmen wegen nichtionisierender Strahlung

Ob Massnahmen wegen der nichtionisierenden Strahlung nötig sein werden ist derzeit nicht bekannt, weshalb sie auch nicht beziffert werden können.

4.1.8 Projekt Engineering

Für die Aufwendungen wie Vorprojekt, Erstellen eines Bauprojekts, Einholen der notwendigen Bewilligungen, Planfeststellungsverfahren, Ausschreibungen bis zur Vergabe an Unternehmer, Abnahme und Projektabschluss, sowie für Diverses werden 15 % von den Erstellungs- und Erschwerniskosten eingesetzt. Wir gehen davon aus, dass die Ingenieur- und Planungskosten für die Ausführung bis zur Abnahme in den Werten des DB Kostenkennwertekatalogs [2] und damit in den vorgängig beschriebenen Anlagenkosten bereits enthalten sind.

4.2 Mengengerüst und Gesamtkosten

Das für die Elektrifizierung der gesamten Hochrheinstrecke Basel – Schaffhausen erforderliche Material und das Mengengerüst ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Für die Anlagen resultiert eine Kostenschätzung von EUR 79.5 Mio.

Für die Erstellung der Anlagen unter Bahnbetrieb wurde ein Erschwerniszuschlag von 30 % (auf die streckenseitige Ausrüstung) eingesetzt, was EUR 16 Mio. ausmacht.

Die Projektierung, das Engineering, die Bewilligungsverfahren sowie Diverses wurden mit insgesamt 15 % veranschlagt. Damit resultieren geschätzte Gesamtkosten von EUR 110.5 Mio. (exkl. MWST).

Die Kostenschätzung enthält zusätzlich zu den Schätzungsungenauigkeiten relativ grosse Unsicherheitsfaktoren was die Rohstoffpreise anbelangt. Allein in den vergangenen 2 Jahren haben sich die Kupferpreise vorübergehend nahezu verdreifacht. Auch die Stahlpreise haben enorme Ausschläge erfahren. Da ein beträchtlicher Teil der Anlagenkosten sehr direkt von den Rohstoffpreisen von Kupfer, Eisen und Stahl abhängt, können die kalkulierten Kosten nur mit einem entsprechenden Vorbehalt verwendet werden. Dieser Vorbehalt kann bis zu einer Unsicherheit von +20…+40 % reichen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Kostenschätzung keine baulichen Anpassungen an den Tunneln enthält. Mit solchen ist aber zu rechnen und sie dürften sich auf einen namhaften Betrag

© ENOTRAC AG

belaufen. Demgegenüber dürften wegen der NIS wohl kaum wesentliche finanzielle Folgen entstehen.

Die Elektrifizierung der Strecke Schaffhausen – Erzingen ist Bestandteil des Agglomerationsprogramms 'Schaffhausen plus'. Das Projekt ist vom Bund positiv beurteilt worden und er hat einen Finanzierungsbeitrag von 40 % in Aussicht gestellt. Ausgegangen wurde von Gesamtkosten für die Elektrifizierung von CHF 13 Mio. Die Elektrifizierung der Strecke Schaffhausen – Erzingen wird voraussichtlich von schweizer Seite zu finanzieren sein. Die Planung sieht vor, diese Strecke im Zeitraum zwischen 2011 und 2014 zu elektrifizieren, währenddem eine Umsetzung der Elektrifizierung auf dem deutschen Streckenteil weniger konkret ist.

Die Kostenschätzung und das Mengengerüst für die Strecke Schaffhausen – Erzingen sind in Tabelle 2 dokumentiert. Die Anlagenkosten betragen EUR 20 Mio. und mit dem Erschwerniszuschlag EUR 24 Mio. Zusammen mit dem Ansatz für die Projektierung etc. resultieren Gesamtkosten von EUR 27.5 Mio.

In Tabelle 3 sind für den Abschnitt Basel – Erzingen das entsprechende Mengengerüst und die Kostenkalkulation zusammengestellt. Hier belaufen sich die Anlagenkosten auf EUR 59.5 Mio., mit dem Erschwerniszuschlag EUR 72 Mio. und zusammen mit der Projektierung EUR 83 Mio. Eine weitergehende Sektionierung, z.B. bis Waldshut, macht insofern keinen Sinn, als ab Basel alleine die Strecke nicht gespeist werden kann.

© ENOTRAC AG

Pos.	Systeme und Apparate	Anzahl	ME	Einheit	Anzahl pro Einheit	Gesamtzahl	Einheitspreis [EUR]	Gesamtpreis [EUR]
1	Statischer Umrichterblock 15 MVA	1	Stk	Tiengen	2	2	8'000'000.00	16'000'000.00
2	Statischer Umrichterblock 15 MVA	1	Stk	Schaffhausen	1	1	8'000'000.00	8'000'000.00
3	Oberleitung freie Strecke gerade 2-gleisig	50.224	km	Gleis	2	100.448	265'000.00	26'618'720.00
4	Oberleitung freie Strecke Kurve 2-gleisig	21.418	km	Gleis	2	42.836	318'000.00	13'621'848.00
5	Oberleitung Tunnel 2-gleisig	0.623	km	Gleis	2	1.246	318'000.00	396'228.00
6	Oberleitung freie Strecke gerade 1-gleisig	13.370	km	Gleis	1	13.370	315'000.00	4'211'550.00
7	Oberleitung freie Strecke Kurve 1-gleisig	3.859	km	Gleis	1	3.859	378'000.00	1'458'702.00
8	Oberleitung Tunnel 1-gleisig	0.353	km	Gleis	1	0.353	468'000.00	165'204.00
9	Oberleitung Bahnhof	1.300	km	Rheinfelden	(2.577)	3.350	318'000.00	1'065'300.00
10	Oberleitung Bahnhof	0.850	km	Waldshut	(4.753)	4.040	318'000.00	1'284'720.00
11	Oberleitung Bahnhof	0.850	km	Erzingen	(2.741)	2.330	318'000.00	740'940.00
12	Weichenbespannung	16	Stk		1	16	50'000.00	800'000.00
13	Spurwechselbespannung	16	Stk		1	16	100'000.00	1'600'000.00
14	Schutzstrecke (pro Gleis)	3	Stk		1	3	100'000.00	300'000.00
15	Speiseleitung	7.000	km		1	7.000	150'000.00	1'050'000.00
16	Leistungsschalter, FL-Schutz	2	Stk		1	2	100'000.00	200'000.00
17	Trennschalter bei den Spurwechseln	16	Stk	Spurwechsel	4	64	15'000.00	960'000.00
18	Trennschalter bei den Schutzstrecken	3	Stk	Schutzstrecke	2	6	15'000.00	90'000.00
19	Trennschalter in Bahnhöfen	2	Stk	Bahnhof	2	4	15'000.00	60'000.00
20	Leittechnikanbindung	23	Stk		1	23	35'000.00	805'000.00
	Zwischentotal 1							**79'428'212.00**
21	Erschwernis Realisierung unter Betrieb (auf Pos 3-20)	30	%					16'628'464.00
	Zwischentotal 2							**96'056'676.00**
22	Projekt, Engineering, Bewilligungsverfahren, Diverses	15	%					14'408'501.00
	Total							**110'465'177.00**

Tabelle 1: Mengengerüst und Kostenschätzung für die Elektrifizierung der Hochrheinstrecke Basel – Schaffhausen der DB AG

Pos.	Systeme und Apparate	Anzahl	ME	Einheit	Anzahl pro Einheit	Gesamtzahl	Einheitspreis [EUR]	Gesamtpreis [EUR]
1	Statischer Umrichterblock 15 MVA	0	Stk	Tiengen	2	0	8'000'000.00	0.00
2	Statischer Umrichterblock 15 MVA	1	Stk	Schaffhausen	1	1	8'000'000.00	8'000'000.00
3	Oberleitung freie Strecke gerade 2-gleisig	12.070	km	Gleis	2	24.140	265'000.00	6'397'100.00
4	Oberleitung freie Strecke Kurve 2-gleisig	5.841	km	Gleis	2	11.682	318'000.00	3'714'876.00
5	Oberleitung Tunnel 2-gleisig	0.286	km	Gleis	2	0.572	318'000.00	181'896.00
6	Oberleitung freie Strecke gerade 1-gleisig	0.000	km	Gleis	1	0	315'000.00	0.00
7	Oberleitung freie Strecke Kurve 1-gleisig	0.000	km	Gleis	1	0	378'000.00	0.00
8	Oberleitung Tunnel 1-gleisig	0.000	km	Gleis	1	0	468'000.00	0.00
9	Oberleitung Bahnhof	0.000	km	Rheinfelden	0	0	318'000.00	0.00
10	Oberleitung Bahnhof	0.000	km	Waldshut	0	0	318'000.00	0.00
11	Oberleitung Bahnhof	0.850	km	Erzingen	(2.741)	2.330	318'000.00	740'940.00
12	Weichenbespannung	4	Stk		1	4	50'000.00	200'000.00
13	Spurwechselbespannung	4	Stk		1	4	100'000.00	400'000.00
14	Schutzstrecke (pro Gleis)	0	Stk		1	0	100'000.00	0.00
15	Speiseleitung	0.000	km		1	0	150'000.00	0.00
16	Leistungsschalter, FL-Schutz	1	Stk		1	1	100'000.00	100'000.00
17	Trennschalter bei den Spurwechseln	4	Stk	Spurwechsel	4	16	15'000.00	240'000.00
18	Trennschalter bei den Schutzstrecken	0	Stk	Schutzstrecke	2	0	15'000.00	0.00
19	Trennschalter in Bahnhöfen	0	Stk	Bahnhof	2	0	15'000.00	0.00
20	Leittechnikanbindung	5	Stk		1	5	35'000.00	175'000.00
	Zwischentotal 1							**20'149'812.00**
21	Erschwernis Realisierung unter Betrieb (auf Pos 3-20)	30	%					3'644'944.00
	Zwischentotal 2							**23'794'756.00**
22	Projekt, Engineering, Bewilligungsverfahren, Diverses	15	%					3'569'213.00
	Total							**27'363'969.00**

Tabelle 2: Mengengerüst und Kostenschätzung für die Elektrifizierung der Strecke Schaffhausen – Erzingen der DB AG

Pos.	Systeme und Apparate	Anzahl	ME	Einheit	Anzahl pro Einheit	Gesamtzahl	Einheitspreis [EUR]	Gesamtpreis [EUR]
1	Statischer Umrichterblock 15 MVA	1	Stk	Tiengen	2	2	8'000'000.00	16'000'000.00
2	Statischer Umrichterblock 15 MVA	0	Stk	Schaffhausen	1	0	8'000'000.00	0.00
3	Oberleitung freie Strecke gerade 2-gleisig	38.154	km	Gleis	2	76.308	265'000.00	20'221'620.00
4	Oberleitung freie Strecke Kurve 2-gleisig	15.577	km	Gleis	2	31.154	318'000.00	9'906'972.00
5	Oberleitung Tunnel 2-gleisig	0.337	km	Gleis	2	0.674	318'000.00	214'332.00
6	Oberleitung freie Strecke gerade 1-gleisig	13.370	km	Gleis	1	13.370	315'000.00	4'211'550.00
7	Oberleitung freie Strecke Kurve 1-gleisig	3.859	km	Gleis	1	3.859	378'000.00	1'458'702.00
8	Oberleitung Tunnel 1-gleisig	0.353	km	Gleis	1	0.353	468'000.00	165'204.00
9	Oberleitung Bahnhof	1.300	km	Rheinfelden	(2.577)	3.350	318'000.00	1'065'300.00
10	Oberleitung Bahnhof	0.850	km	Waldshut	(4.753)	4.040	318'000.00	1'284'720.00
11	Oberleitung Bahnhof	0.000	km	Erzingen	0	0	318'000.00	0.00
12	Weichenbespannung	12	Stk		1	12	50'000.00	600'000.00
13	Spurwechselbespannung	12	Stk		1	12	100'000.00	1'200'000.00
14	Schutzstrecke (pro Gleis)	3	Stk		1	3	100'000.00	300'000.00
15	Speiseleitung	7.000	km		1	7.000	150'000.00	1'050'000.00
16	Leistungsschalter, FL-Schutz	1	Stk		1	1	100'000.00	100'000.00
17	Trennschalter bei den Spurwechseln	12	Stk	Spurwechsel	4	48	15'000.00	720'000.00
18	Trennschalter bei den Schutzstrecken	3	Stk	Schutzstrecke	2	6	15'000.00	90'000.00
19	Trennschalter in Bahnhöfen	2	Stk	Bahnhof	2	4	15'000.00	60'000.00
20	Leittechnikanbindung	18	Stk		1	18	35'000.00	630'000.00
	Zwischentotal 1							**59'278'400.00**
21	Erschwernis Realisierung unter Betrieb (auf Pos 3-20)	30	%					12'983'520.00
	Zwischentotal 2							**72'261'920.00**
22	Projekt, Engineering, Bewilligungsverfahren, Diverses	15	%					10'839'288.00
	Total							**83'101'208.00**

Tabelle 3: Mengengerüst und Kostenschätzung für die Elektrifizierung der Strecke Basel – Erzingen der DB AG

von km	bis km	Bemerkung	Distanz [km]	Typ	Anzahl Geleise	Weichen	Spurwechsel	Schaltposten / Schutzstrecken
270.700	271.200	Bf Basel Bad Bf, Schon elektrifiziert	0.500	Bahnhof	0		0	
271.200	271.505	Beginn der zu elektrifizierenden Strecke	0.305		2		1	Schaltposten
271.505	272.031		0.526	Kurve[1]	2			
272.031	272.235		0.204		2			
272.235	273.488		1.253	Kurve	2			
273.488	274.404		0.916		2			
274.404	275.258		0.854	Kurve	2			
275.258	275.979	Bf Grenzach	0.721		2		1	2 Schaltposten
275.979	277.545		1.566		2		1	
277.545	278.553	Wyhlen	1.008		2			
278.553	278.855		0.302		2			
278.855	279.548		0.693	Kurve	2			
279.548	284.200		4.652		2			
284.200	285.500	Bf Rheinfelden	1.300	Bahnhof	2.577[2]	2	1	2 Schaltposten
285.500	286.317		0.817	Kurve	2		1	
286.317	286.552		0.235		2			
286.552	286.913		0.361	Kurve	2			
286.913	287.282		0.369		2			
287.282	289.114		1.832		2		1	Schaltposten
289.114	290.411		1.297	Kurve	2			
290.411	291.675		1.264		2			
291.675	292.417		0.742	Kurve	2			
292.417	293.628		1.211		2			
293.628	294.061	Schwörstadt	0.433	Kurve	2			
294.061	294.698		0.637		2			
294.698	295.362		0.664	Kurve	2			
295.362	296.677		1.315		2			
296.677	297.267		0.590	Kurve	2			
297.267	297.698	Wehr - Brennet	0.431		2			
297.698	298.948		1.250	Kurve	2			
298.948	299.795		0.847		2			
299.795	300.735		0.940	Kurve	2			
300.735	301.022		0.287		2			
301.022	301.866		0.844	Kurve	2			
301.866	302.000		0.134		2			
302.000	303.123	Bad Säckingen	1.123		2			
303.123	303.747		0.624	Kurve	2			
303.747	304.410		0.663		2			
304.410	304.899		0.489	Kurve	2			
304.899	306.089		1.190		2			
306.089	306.550		0.461	Kurve	2			

[1] Es wurden als Kurven berücksichtigt, wenn der Radius kleiner als 2'000 m ist.
[2] Gesamtlänge alle Bahnhofgeleise dividiert durch die Bahnhoflänge.

von km	bis km	Bemerkung	Distanz [km]	Typ	Anzahl Geleise	Weichen	Spurwechsel	Schaltposten / Schutzstrecken
306.550	306.919		0.369		2			
306.919	308.437	Murg	1.518		2			
308.437	308.525		0.088		2		1	Schaltposten
308.525	308.808		0.283	Kurve	2			
308.808	309.291		0.483		2		1	Schaltposten
309.291	309.581		0.290	Kurve	2			
309.581	309.825		0.244		2			
309.825	310.123		0.298	Kurve	2			
310.123	310.645		0.522		2			
310.645	311.390		0.745	Kurve	2			
311.390	311.727	Rappenstein-Tunnel	0.337	Tunnel	2			
311.727	311.904		0.177	Kurve	2			
311.904	313.263	Laufenburg Ost	1.359		2			
313.263	315.772		2.509		2			
315.772	316.248		0.476	Kurve	2			
316.248	317.432		1.184		2			
317.432	318.400	Albbruck	0.968		2		1	Schaltposten
318.400	322.247		3.847		2		1	Schaltposten
322.247	322.717		0.470	Kurve	2			
322.717	325.250		2.533		2			
325.250	326.100	Bf Waldshut	0.850	Bahnhof	4.753[3]	8	2	4 Schaltposten
326.100	326.783		0.683	Kurve	1			Schutzstrecke Richtung Koblenz, mit Schaltposten
326.783	327.136	Aarberg-Tunnel	0.353	Tunnel	1			
327.136	327.392		0.256	Kurve	1			
327.392	327.734		0.342		1			
327.734	328.105		0.371	Kurve	1			
328.105	329.513		1.408		1			
329.513	329.954		0.441	Kurve	1			
329.954	330.304		0.350		1			
330.304	331.692	Tiengen	1.388		1			
331.692	331.806		0.114		1			
331.806	332.533		0.727	Kurve	1			
332.533	334.334		1.801		1			
334.334	335.652	Lauchringen	1.318		2	1		Schaltposten
335.652	337.063		1.411		1	1		Schaltposten
337.063	338.444		1.381	Kurve	1			
338.444	340.633		2.189		1			
340.633	341.912	Griessen	1.279		1			
341.912	345.000		3.088		1			
345.000	345.850	Bf Erzingen	0.850	Bahnhof	2.741[3]	3		2 Schaltposten
345.850	347.115	Beginn Doppelspurausbau	1.265		2	1	1	2 Schutzstrecken mit 2 Schaltposten

[3] Gesamtlänge alle Bahnhofgeleise dividiert durch die Bahnhoflänge.

von km	bis km	Bemerkung	Distanz [km]	Typ	Anzahl Geleise	Weichen	Spurwechsel	Schaltposten / Schutzstrecken
347.115	347.632		0.517	Kurve	2			
347.632	347.821		0.189		2			
347.821	349.407	Wilchingen - Hallau	1.586		2			
349.407	350.132		0.725		2			
350.132	350.447		0.315	Kurve	2			
350.447	350.800		0.353		2			
350.800	351.850	Neunkirch	1.050		2		1	Schaltposten
351.850	352.376		0.526	Kurve	2		1	Schaltposten
352.376	352.480		0.104		2			
352.480	353.399		0.919	Kurve	2			
353.399	356.369		2.970		2			
356.369	356.777		0.408	Kurve	2			
356.777	356.926	Ende Doppelspurausbau	0.149		2			
356.926	357.904	Beringen Bad Bf	0.978		2		1	Schaltposten
357.904	358.600		0.696		2			
358.600	359.111		0.511	Kurve	2			
359.111	360.047		0.936		2			
360.047	360.380		0.333	Kurve	2			
360.380	360.487		0.107		2			
360.487	361.433		0.946	Kurve	2			
361.433	362.115	Neuhausen Bad Bf	0.682		2			
362.115	362.322		0.207		2			
362.322	362.753		0.431	Kurve	2			
362.753	363.039	Charlottenfels-Tunnel	0.286	Tunnel	2			
363.039	363.579		0.540	Kurve	2			
363.579	363.652		0.073		2			
363.652	364.047	Ende der zu elektrifizierenden Strecke	0.395	Kurve	2			
364.047	364.421	Bf Schaffhausen	0.374	Bahnhof	0		0	

Tabelle 4: Bestandesaufnahme für die Elektrifizierung der Hochrheinstrecke Basel – Schaffhausen der DB AG

5 REFERENZEN

[1] Elektrifizierung Hochrhein Basel – Singen, Bericht Version 1-00, 9. April 2009, SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

[2] Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998

[3] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)

[4] Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BlmSchV)

[5] Tunnelprofile Rappensteintunnel, DB-Lichtraumdatenbank

[6] Tunnelprofile Aarbergtunnel, DB-Lichtraumdatenbank

ENOTRAC

NVBW Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH

Elektrifizierung Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn

Teil B2 – Kostenschätzung Bodensee-Gürtelbahn

ECH-105.05-001
Version 2.0

Auftraggeber:

NVBW mbH
Wilhelmsplatz 11
70182 Stuttgart
Deutschland

Herausgeber:

ENOTRAC AG
Seefeldstrasse 8
CH-3600 Thun
Tel. +41 (0)33 346 66 11
Fax +41 (0)33 346 66 12
e-mail: info@enotrac.com
www.enotrac.com

Freigegeben
15.12.09
ECH-105.05-001.V2.0.DB_Guertelbahn_Elektrifizierung.doc

© ENOTRAC AG

Aktuelle Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
2.0	15.12.09	Freigegeben	S. Rochat	H. Voegeli	H. Voegeli

Vorherige Version

Version	Datum	Status	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
1.0	24.11.09	Freigegeben	S. Rochat	H. Voegeli	H. Voegeli

Änderungen seit der vorherigen Version

Urheberrecht

Für dieses Dokument und den darin dargestellten Gegenstand behalten wir uns alle Rechte vor. Vervielfältigung, Bekanntgabe an Dritte oder Verwertung seines Inhalts sind ohne schriftliche Zustimmung verboten. © ENOTRAC AG

Der Auftraggeber wird hiermit ermächtigt, den vorliegenden Bericht an andere Amtsstellen, Behörden, politische Gremien und an DB/SBB weiter zu geben, sofern dies in Zusammenhang mit dem Elektrifizierungsprojekt Bodensee-Gürtelbahn steht.

Bookmarks

Projekttitel	ProjTitle1	Elektrifizierung Hochrheinstrecke und
	ProjTitle2	Bodensee-Gürtelbahn
Berichttitel	DocTitle1	Teil B2 – Kostenschätzung Bodensee-Gürtelbahn
	DocTitle2	
	DocTitle3	
Berichtnummer	DocNumber	ECH-105.05-001
Auftraggeber	ClientName	NVBW mbH
	ClientAddr	Wilhelmsplatz 11 70182 Stuttgart Deutschland
Logos	EnoLogoHeader	ENOTRAC
	ClientLogo1Header	NVBW
	ClientLogo2Header	

Inhalt:

1	**Einleitung, Ausgangslage**	**4**
2	**Zusammenfassung**	**5**
3	**Grobkonzept für die Elektrifizierung**	**7**
3.1	Elektrische Umsysteme und Rahmenbedingungen	7
3.2	Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung	10
3.2.1	Einspeisungen	12
3.2.2	Oberleitung und Speiseleitung	14
3.2.3	Schaltapparate	15
3.2.4	Leittechnik	15
3.2.5	Anpassungen an Bauten	15
3.2.6	Nichtionisierende Strahlung	16
4	**Kostenschätzung**	**17**
4.1	Einheitspreise	17
4.1.1	Statische Umrichter	17
4.1.2	Oberleitung und Speiseleitung	17
4.1.3	Schaltapparate	19
4.1.4	Leittechnik	19
4.1.5	Erschwernisse für die Erstellung	19
4.1.6	Anpassungen an Bauten	20
4.1.7	Maßnahmen wegen nichtionisierender Strahlung	20
4.1.8	Projekt Engineering	20
4.2	Mengengerüst und Gesamtkosten	20
5	**Referenzen**	**26**

© ENOTRAC AG

1 EINLEITUNG, AUSGANGSLAGE

Die Bodensee-Gürtelbahn der Deutschen Bahn AG (DB AG) verbindet Radolfzell mit Friedrichshafen Stadt. Die Strecke ist 58.9 km lang und verläuft auf der deutschen Seite des Bodensees. Sie ist heute nicht elektrifiziert. Das Verkehrsingenieurunternehmen SMA und Partner AG aus Zürich untersucht im Auftrag der Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg mbH (NVBW) die Möglichkeiten und Vorteile eines elektrischen Betriebs auf dieser Strecke [1]. Dazu werden verschiedene Betriebsszenarien erarbeitet.

Teil dieser Studien ist auch die Ermittlung der Investitionskosten in die Infrastruktur bei einer Elektrifizierung. Für diese Kostenermittlung wurde ENOTRAC AG als spezialisiertes Elektro-Ingenieurbüro für Eisenbahntechnik beigezogen. Die Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung aufgrund des zu führenden Betriebs und die Kostenermittlung sind Gegenstand des vorliegenden Berichts.

Zur Bestimmung der Investitionskosten wurde wie folgt vorgegangen:

- Erfassen und Einschätzen der Situation
- Rahmenbedingungen für die Streckenspeisung ermitteln
- Konzept für die Streckenspeisung (Einspeisungen) erarbeiten
- Definition der Oberleitungsanlage
- Verifikation des Speisekonzepts, Beurteilung der örtlichen Gegebenheiten, Berechnung der Spannungsstabilität, Stromtrag- und Leistungsfähigkeit, Überarbeitung des Speisekonzepts
- Mengengerüst erstellen
- Ermittlung der Einheitskosten
- Berechnung der Gesamtkosten.

Für die Kostenermittlung mussten die Energieversorgung, die elektrischen Anlagen und die Oberleitungsanlage technisch bereits recht konkret bestimmt werden.

Für die Elektrifizierungsstudie Bodensee-Gürtelbahn wird vorausgesetzt, dass bis spätestens zu deren Elektrifizierung bei den angrenzenden Strecken die Elektrifizierungsprojekte umgesetzt sind. Es betrifft dies die Strecken:

- Ulm – Aulendorf – Friedrichshafen (Südbahn)
- Friedrichshafen – Lindau
- Lindau – Hergatz – Kißlegg – Memmingen – Geltendorf – (München).

Die Strecke Singen – Radolfzell – Konstanz ist bereits heute elektrifiziert.

© ENOTRAC AG

2 ZUSAMMENFASSUNG

Es wird davon ausgegangen, dass die Strecken bis zu den beiden Enden der Bodensee-Gürtelbahn in Radolfzell und Friedrichshafen Stadt mit dem in Deutschland üblichen Bahnstromsystem 15 kV 16.7 Hz elektrifiziert sind. Bei einer Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn kann diese also an die elektrifizierten Nachbarstrecken angeschlossen werden.

Auf Seite Radolfzell speist das etwa 10 km entfernte Unterwerk Singen. Der Raum Friedrichshafen wird von den Umrichterwerken Niederbiegen und Leutkirch gespeist. Diese liegen ca. 25 bzw. 75 km von Friedrichshafen entfernt (siehe Abbildung 1). Zwischen Radolfzell und Friedrichshafen gibt es keine Bahnstrom Hochspannungs-Übertragungsleitung (110 kV, 16.7 Hz). Daher besteht auch keine Möglichkeit, für die Bodensee-Gürtelbahn eine Zwischeneinspeisung ab 16.7 Hz-Netz zu bauen. Eine Zwischeneinspeisung ist jedoch notwendig. Das erarbeitete Speisekonzept sieht dafür einen statischen Umrichter in Markdorf vor. Ein statischer Umrichter generiert aus dem 50 Hz Landesnetz 16.7 Hz Bahnstrom.

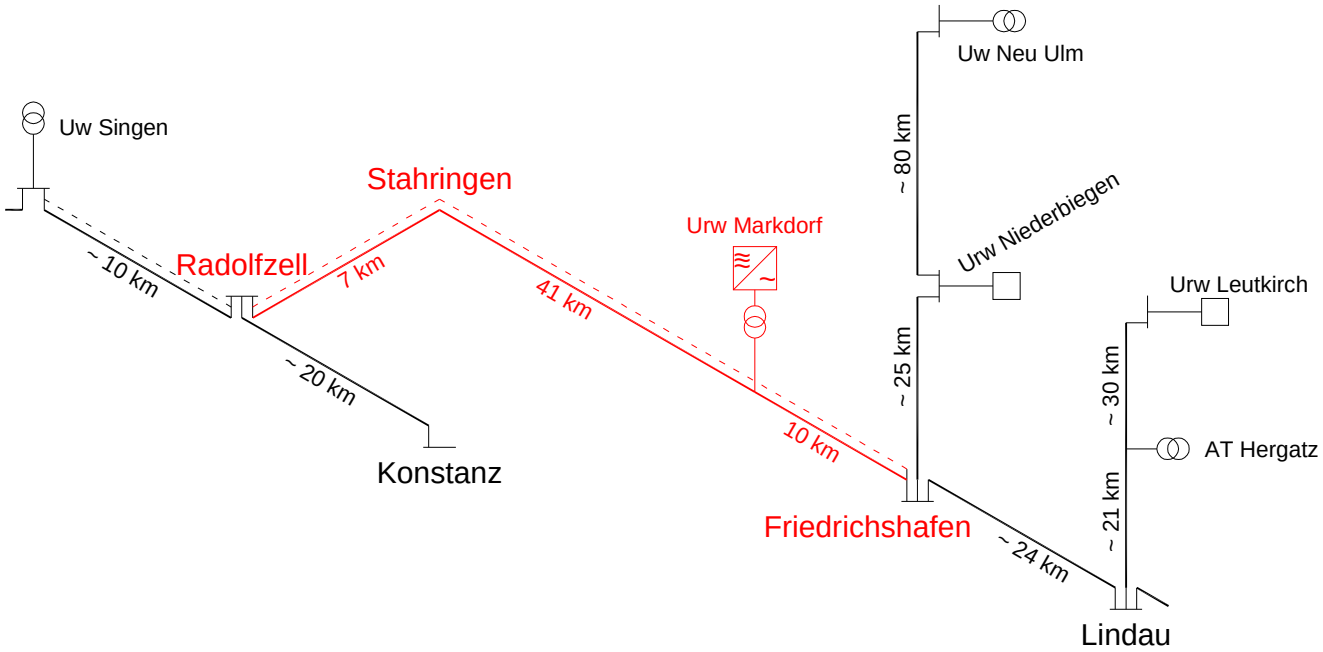


Abbildung 1: Übersicht des vorgesehenen Speisekonzeptes der Bodensee-Gürtelbahn mit den nächstgelegenen Bahnstromunterwerken

Mit diesem Versorgungskonzept kann für die ganze Bodensee-Gürtelbahn eine ausreichende Oberleitungsspannung erreicht und die erforderliche Leistung kann eingespeist und übertragen werden. Zur definitiven Leistungsbemessung sollten in der nächsten Projektphase noch Lastberechnungen mittels Netzsimulationen durchgeführt werden. Auch bei einem Ausfall eines wesentlichen Netzteils (n-1 Kriterium), z.B. des Umrichters Markdorf, der Anbindung Radolfzell/Singen oder der Anbindung Friedrichshafen, kann der elektrische Bahnbetrieb, allenfalls mit gewissen betrieblichen Einschränkungen, aufrecht erhalten werden.

Für die Oberleitung wird von einem Regeltyp Re160/200 der DB AG ausgegangen. Das Kettenwerk pro Gleis besteht aus einem Fahrdraht Ri 100 und einem Tragseil Bz II 50. Zur Verbesserung der Leitungsimpedanz ist zusätzlich an den Masten je Gleis ein Rückleiterseil 95 mm^2 Cu vorgesehen.

Auf der ganze Strecke wird die Oberleitung verstärkt durch eine parallele Hilfs- oder Verstärkungsleitung 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St.

Die Stromtragfähigkeit des vorgeschlagenen Kettenwerks ist für die auftretenden Belastungen ausreichend.

Bei den drei Tunneln dürften die Platzverhältnisse für den Einbau der Oberleitung ausreichend sein. Es wird aber davon ausgegangen, dass eine Deckenstromschiene eingebaut werden muss. Verbindliche Aussagen zum Einbau der Oberleitung in den Tunneln sind auf jeden Fall erst nach zusätzlichen, detaillierten Abklärungen möglich.

Das für die Elektrifizierung erforderliche Material wurde zusammengestellt und ein entsprechendes Mengengerüst für die Bodensee-Gürtelbahn erstellt. Darin enthalten sind:

- 1 statischer Umrichterblock 50 Hz/16.7 Hz in Markdorf
- 69.5 Kilometer Oberleitung
- 17 Weichenbespannungen
- 7.2 km Speiseleitung auf bestehenden Oberleitungsmasten
- 7 Leistungsschalter mit Oberleitungsschutz
- 29 Lasttrennschalter
- 36 Anbindungen an die Leittechnik.

Für diese Anlagen, zur Elektrifizierung der gesamten Bodensee-Gürtelbahn Radolfzell – Friedrichshafen Stadt, resultieren geschätzte Kosten von EUR 35.5 Mio. Die detaillierte Kalkulation erfolgt im Kapitel 4.

Es wird davon ausgegangen, dass die Erstellung dieser Anlagen unter Bahnbetrieb erfolgen wird. Dies führt gegenüber einer Neubaustrecke zu einer beträchtlichen Erschwernis, welche sich auch in den Kosten niederschlägt. Für die streckenseitige Ausrüstung (also exklusive statische Umrichter) wurde für diese Erschwernis ein Zuschlag von 30 % eingesetzt, was EUR 8.1 Mio. ausmacht.

Die Projektierung, das Engineering, die Bewilligungsverfahren sowie Diverses wurden mit insgesamt 15 % veranschlagt.

Damit resultieren geschätzte Gesamtkosten von EUR 50.1 Mio. (exkl. MWST).

Die Kostenschätzung enthält zusätzlich zu den Schätzungsungenauigkeiten relativ große Unsicherheitsfaktoren was die Rohstoffpreise anbelangt. Allein in den vergangenen 2 Jahren haben sich die Kupferpreise vorübergehend nahezu verdreifacht. Auch die Stahlpreise haben enorme Ausschläge erfahren. Da ein beträchtlicher Teil der Anlagenkosten sehr direkt von den Rohstoffpreisen von Kupfer, Eisen und Stahl abhängt, können die kalkulierten Kosten nur mit einem entsprechenden Vorbehalt verwendet werden. Dieser Vorbehalt kann bis zu einer Unsicherheit von +20…+40 % reichen. Diese Unsicherheit wird man aber immer haben, selbst bei der Ausarbeitung eines detaillierten Bauprojekts.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Kostenschätzung keine baulichen Anpassungen an den Tunneln enthält, wobei mit solchen nicht zu rechnen ist. Eine abschließende Beurteilung müsste außerhalb der vorliegenden Studie durch einen Baufachmann erfolgen. Allfällig nötige Anpassungen könnten sich allerdings auf einen namhaften Betrag belaufen.

3 GROBKONZEPT FÜR DIE ELEKTRIFIZIERUNG

3.1 Elektrische Umsysteme und Rahmenbedingungen

Die Bodensee-Gürtelbahn verläuft von Radolfzell bis nach Friedrichshafen. An den beiden Enden in Radolfzell und in Friedrichshafen sind die übrigen dort zusammenlaufenden Strecken mit dem in Deutschland üblichen Bahnstromsystem 15 kV 16.7 Hz elektrifiziert, bzw. sie sollten bis zur Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn elektrifiziert sein. Bei einer Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn kann diese an die elektrifizierten Nachbarstrecken angeschlossen werden.

Zwischen Radolfzell und Friedrichshafen gibt es keine Bahnstrom Hochspannungs-Übertragungsleitung (16.7 Hz). Daher besteht auch keine Möglichkeit, für die Bodensee-Gürtelbahn eine Zwischeneinspeisung ab 16.7 Hz-Netz zu bauen.

Die der Bodensee-Gürtelbahn nächstgelegenen Bahnstromunterwerke (Uw) und Umrichterwerke (Urw) sind:

- Uw Singen der DB, ca. 10 km westlich von Radolfzell
- Urw Niederbiegen und Uw Neu Ulm, ca. 25 bzw. 100 km nördlich von Friedrichshafen
- Urw Leutkirch, ca. 75 km nord-östlich von Friedrichshafen, mit einer Autotransformatorstation in Hergatz.

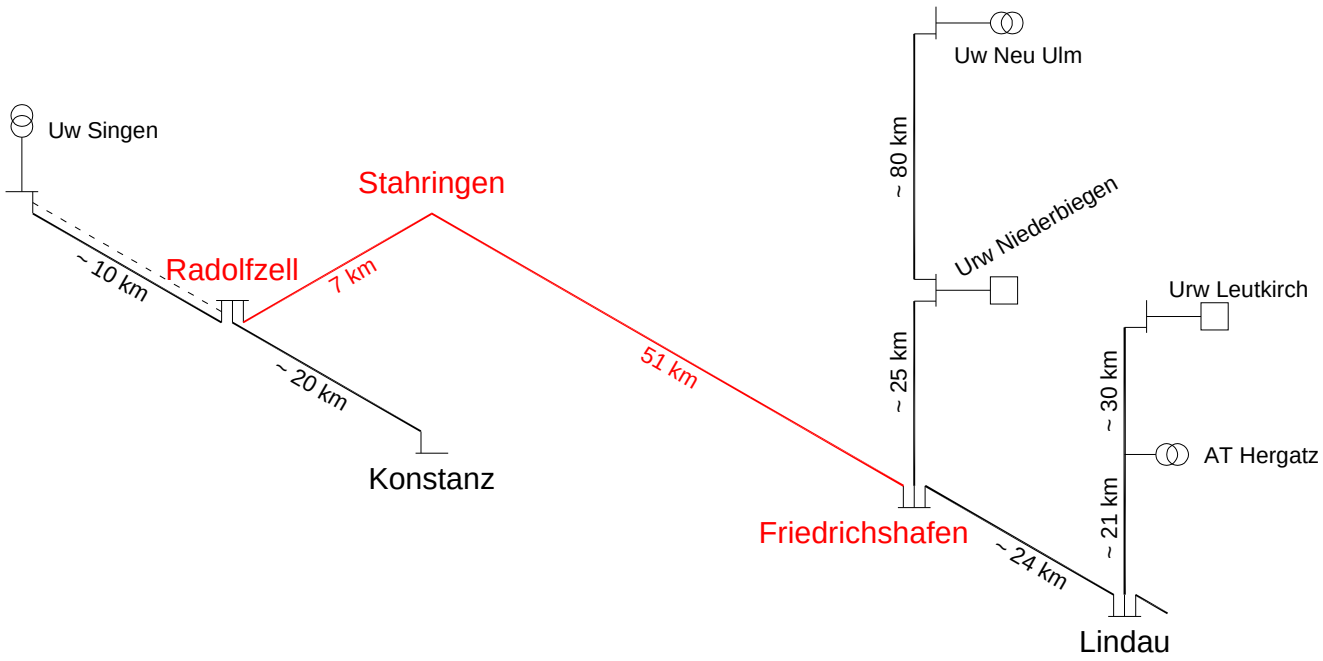


Abbildung 2: Übersicht der Bodensee-Gürtelbahn mit der Einbettung in die umliegenden, bis dahin elektrifizierten Strecken und deren Bahnstromunterwerke

Die Bodensee-Gürtelbahn gehört der DB Netz AG. Bei der Elektrifizierung ist daher eine Oberleitung nach DB-Standard vorzusehen. Die Maximalgeschwindigkeit V_{max} beträgt 160 km/h. Der Abschnitt

Radolfzell – Stahringen ist 2-spurig mit einem 1 km langen 1-spurigen Teil, auf welchem sich der Brandbühl Tunnel befindet. Der Abschnitt Stahringen – Friedrichshafen ist 1-spurig.

Die durch den Bahnhof Radolfzell führende Linie Singen – Konstanz ist bereits elektrifiziert und auf den ersten 800 m in Richtung Stahringen – Friedrichshafen gibt es ebenfalls bereits eine Oberleitung. Daher wird in dieser Studie von einem komplett elektrifizierten Bahnhof Radolfzell ausgegangen. Da die Strecken Friedrichshafen – Lindau und Friedrichshafen – Ulm vor der Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn bereits elektrifiziert sein müssen, wird der Bahnhof Friedrichshafen ebenfalls als bereits elektrifiziert angenommen.

Für das Betriebskonzept wurden durch die Verkehrsingenieure der SMA und Partner AG verschiedene Fahrplanentwürfe erarbeitet. Im Bericht [1] der SMA sind das 'Zielkonzept' (siehe Abbildung 4) und weitere Varianten für ein Betriebskonzept aufgeführt. Da eine Bahnstromversorgung verschiedenen Betriebsvarianten genügen sollte (ein Betriebskonzept kann sich auch mal ändern), wurde aus diesen Varianten eine für die Bahnstromversorgung harte Betriebssituation (worst case Situation) definiert. Die Stabilität der Oberleitungsspannung wird sehr stark durch die Gleichzeitigkeit von großen Leistungsbezügen bestimmt. Dementsprechend berücksichtigt diese Situation eine maximale Anzahl von gleichzeitigen, auf der Strecke verteilten Zugsanfahrten.

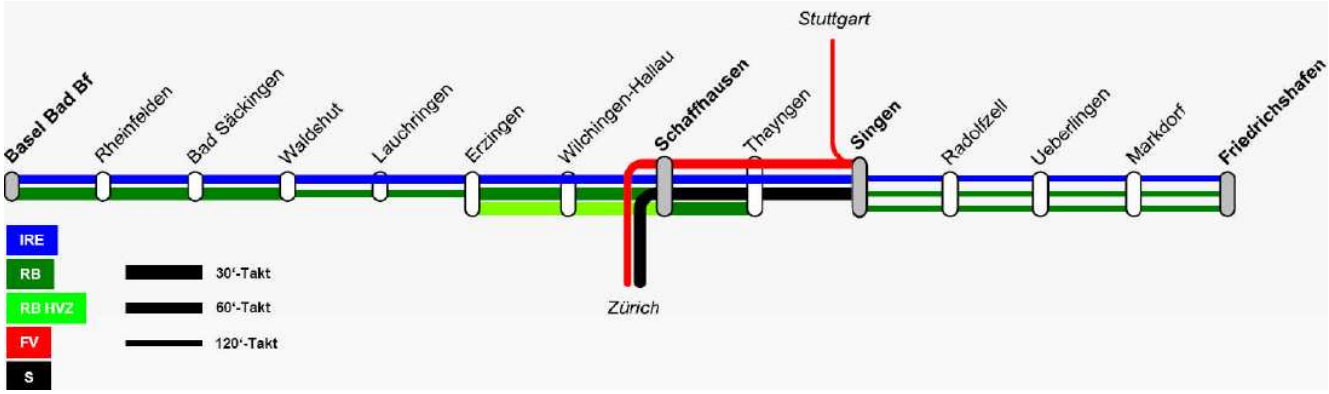


Abbildung 3: Linienkonzept Basel Bad Bf – Singen – Friedrichshafen aus [1]

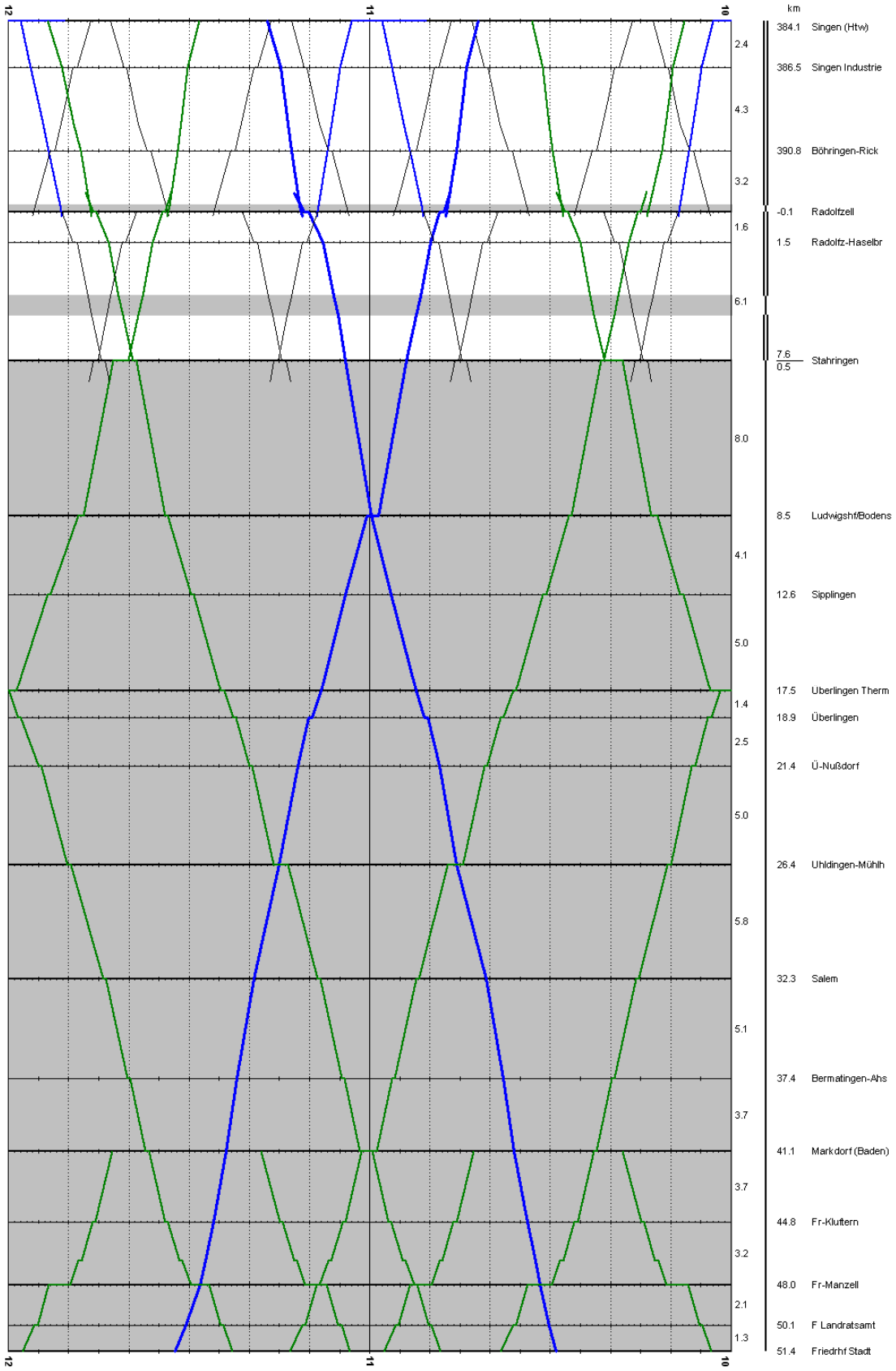


Abbildung 4: Bildfahrplan 'Zielkonzept' aus [1] zwischen Singen und Friedrichshafen Stadt

Als Basis für ein mögliches elektrisches Triebfahrzeug wurde für die Bodensee-Gürtelbahn ein 4-teiliger Flirt angenommen. Gemäß den Verkehrsplanern [1] sind 3 Züge pro 2 Stunden und Richtung vorgesehen (1 IRE und 2 Regiozüge pro 2 Stunden, siehe Abbildung 3). Die Züge werden zeitweise als Flirt-Doppelkompositionen und zeitweise als Einfachkomposition geführt. Als Grundlage für die Dimensionierung der Bahnstromversorgung werden in dieser Studie die Belastungen durch Flirt-Doppelkompositionen betrachtet. Der Flirt weist eine relativ hohe installierte Leistung auf, was sich entsprechend auf die Fahrstromversorgung auswirken kann: es wurde mit einer Maximalleistung von 4.5 MW pro Doppelkomposition gerechnet, was einem Anfahrstrom von 300 A entspricht.

Abbildung 5: 4-teiliger FLIRT der SOB

3.2 Grobdimensionierung der Fahrstromversorgung

Im Rahmen dieser Studie galt es die Fahrstromversorgung soweit zu konzipieren und zu dimensionieren, dass ein Mengen- und Kostengerüst erstellt werden konnte. Simulationen und Lastberechnungen, wie sie spätestens im Rahmen eines Vorprojekts üblich sind, wurden nicht durchgeführt. Es galt die Belastungen und Spannungsverhältnisse soweit abzuschätzen, dass das gewählte Speisekonzept den Anforderungen genügen sollte. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass für die Spannungshaltung eine Einspeisung in Markdorf nötig ist. Die in diesem Bericht beschriebene, auf Erfahrung und Überschlagsrechnungen basierend ausgelegte Fahrstromversorgung, sollte in einem nächsten Schritt mittels Simulationen noch verifiziert werden. Mit dazu gehört die endgültige Leistungsbemessung der Anlagen. Das Speiseprinzip wurde im Zuge der Arbeiten mit DB Energie GmbH abgestimmt.

© ENOTRAC AG

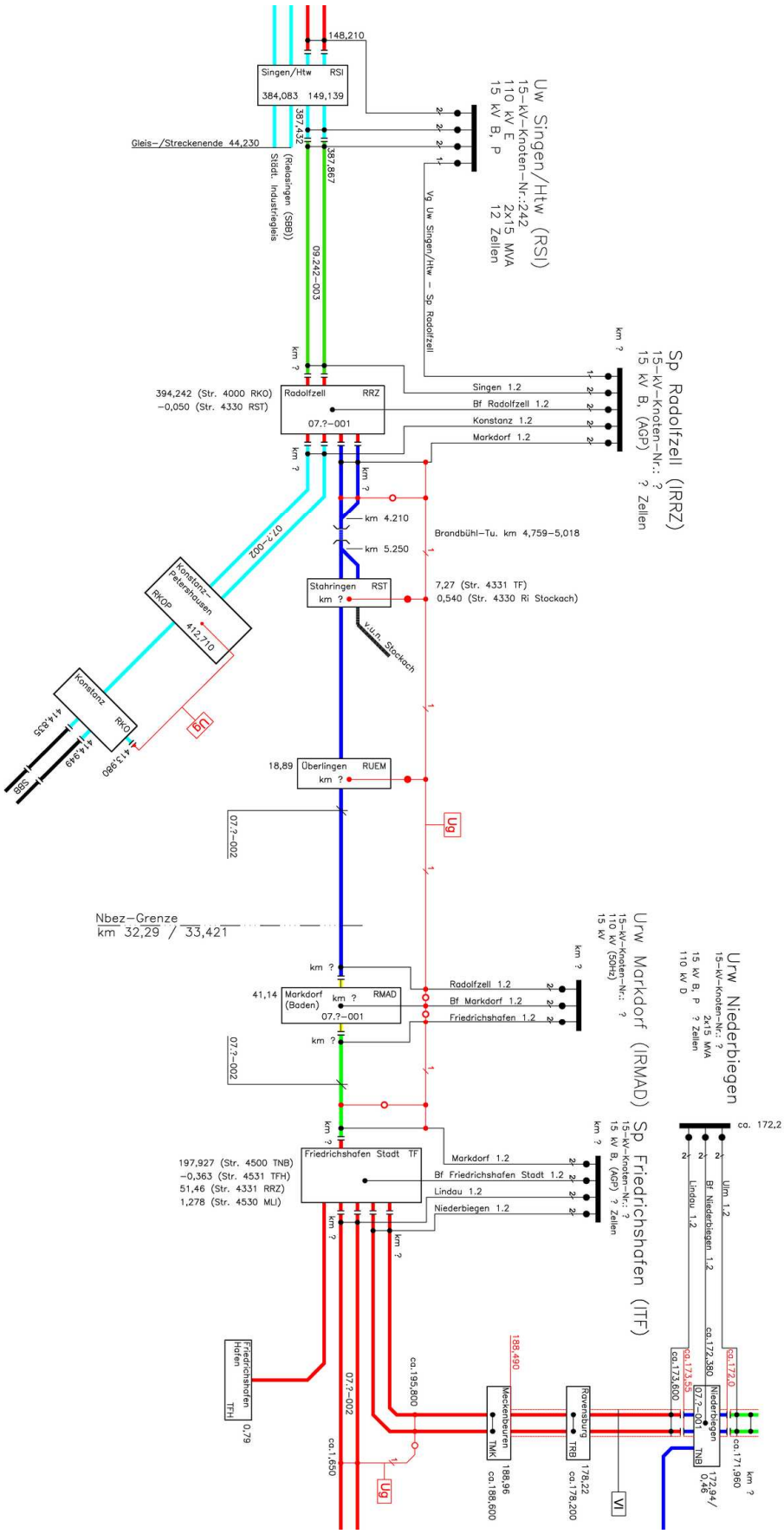


Abbildung 6: Schemaausschnitt aus [2] mit der elektrifizierten Strecke Radolfzell – Friedrichshafen

3.2.1 Einspeisungen

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, kann die Fahrstromversorgung der Bodensee-Gürtelbahn in Radolfzell und Friedrichshafen mit den bestehenden Fahrstromanlagen verbunden werden. Es ist jedoch nicht realistisch, die gesamte Strecke nur von diesen beiden Orten zu speisen.

Unter Berücksichtigung der Distanz zu den nächstgelegenen Speisepunkten (Unterwerk Singen und Umrichterwerk Niederbiegen) resultiert mit der Bodensee-Gürtelbahn eine insgesamt zu speisende Strecke von über 90 Kilometern. Mit dieser Konstellation würde der vorgegebene elektrische Bahnbetrieb knapp möglich sein, wäre aber angesichts der Tatsache, dass es sich um eine Neuelektrifizierung handelt, äußerst unbefriedigend. Falls dann noch einer der Speisepunkte nicht zur Verfügung stehen sollte, so wäre der elektrische Zugsverkehr nicht mehr möglich. D.h., die Fahrstromversorgung würde das von der DB geforderte n-1 Kriterium (Ausfall einer Hauptkomponente) nicht erfüllen.

Es ist daher eine neu zu errichtende Zwischeneinspeisung notwendig. Dazu bietet sich an, in Markdorf ein statisches Umrichterwerk zu bauen. Mit einem statischen Umrichter wird 50 Hz Energie ab Landesnetz in 16.7 Hz Bahnstrom umgeformt. Die erforderlichen Anschlussmöglichkeiten an das 50 Hz Hochspannungs-Landesnetz sind in Markdorf vorhanden. Etwa bei km 41 befindet sich eine Hochspannungsschaltanlage, an die ein Umrichter angeschlossen werden könnte (Abbildung 7). Der Standort Markdorf wurde von DB Energie evaluiert. Eine Alternativlösung wäre ein Bahnstromunterwerk und eine Bahnstrom-Übertragungsleitung von Singen bis Markdorf. Diese Lösung ist jedoch sowohl hinsichtlich technischer Machbarkeit, dem Bewilligungsverfahren wie auch den Kosten unrealistisch.

Abbildung 7: 50 Hz Hochspannungsschaltanlage in Markdorf

Mit einer solchen Streckenspeisung resultiert eine totale Streckenlänge zwischen den beiden Einspeisungen Singen und Markdorf von rund 58 km und zwischen Markdorf und Niederbiegen von 35 km. Eine derart aufgeteilte Fahrstromversorgung erfüllt die Anforderungen. Mit dem vorgegebenen Betriebskonzept resultieren zwischen Radolfzell und Friedrichshafen im Extremfall Spannungsabfälle auf der Oberleitung von rund 2.8 kV. Mit einer doppelten Einspeisung in Markdorf (2x15 MVA) würde dieser Spannungsabfall auf 2.3 kV reduziert. Hinsichtlich Leistungsanforderungen reicht ein 15 MVA-Block aus. Da bei einem eventuellen Ausfall dieses Umrichterblocks der Bahnbetrieb gerade noch aufrechterhalten werden kann, wird das n-1 Kriterium mit einem einzelnen Block erfüllt.[1]

Damit resultiert für die Bodensee-Gürtelbahn das folgende Speisekonzept:

- Seite Radolfzell Anschluss an das bestehende Oberleitungsnetz der DB (Unterwerk Singen über die Bahnstrecke Singen – Radolfzell und über eine parallel geführte, neu zu erstellende 2x 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St Speiseleitung)
- Neuer statischer Umrichter in Markdorf (1 Block 15 MVA)
- Seite Friedrichshafen Anschluss an das bis dahin bestehende Oberleitungsnetz der DB (Unterwerke und Umrichterwerke Niederbiegen, Neu Ulm und Leutkirch).

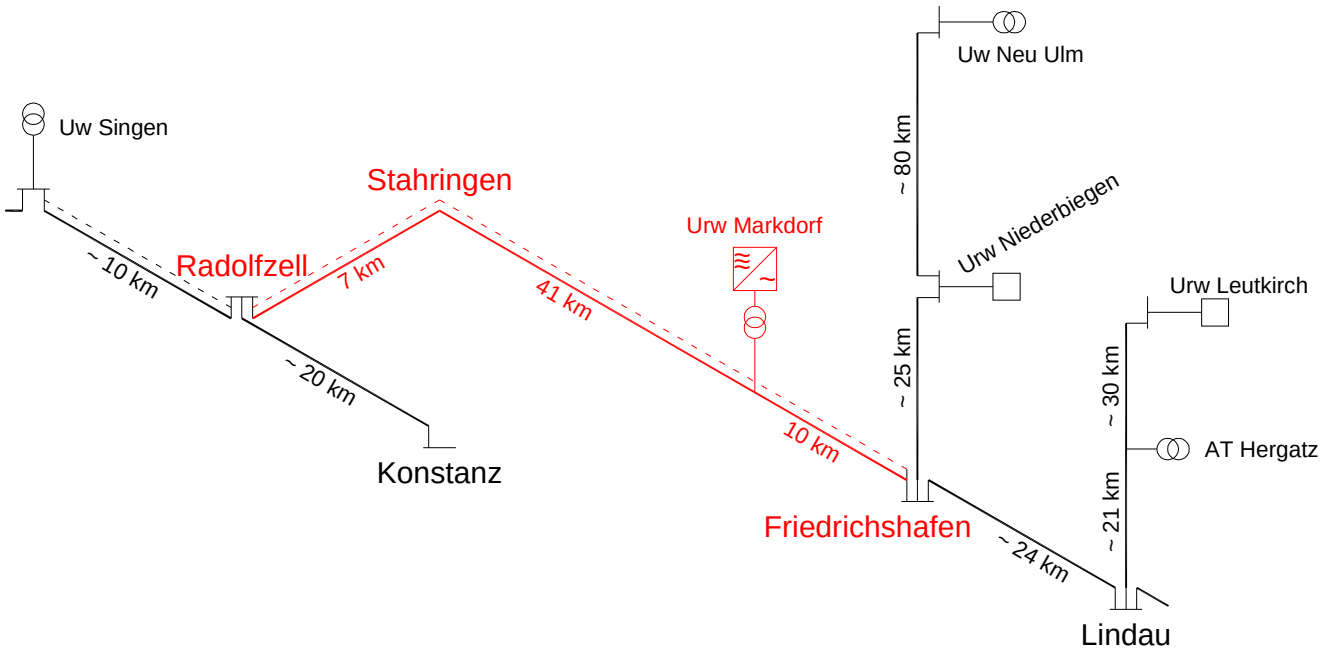


Abbildung 8: Vorgesehenes Speisekonzept für die Bodensee-Gürtelbahn

Mit diesem Konzept wird die Versorgung der Bodensee-Gürtelbahn bei normalem Netzzustand sichergestellt. Weil die Einspeisung mit einem einzigen Block in Markdorf keine Redundanz aufweist, wurde das Ausfallszenario auch untersucht: bei einem Totalausfall des Umrichterwerks Markdorf ist mit der angenommenen Belastung ein Spannungsabfall von 5.1 kV zu erwarten. Da diese angenommene Belastung sehr pessimistisch ist, muss das Ausfallszenario mit einem geringeren Anfahrstrom berechnet werden. Es wird von einem gegenüber den Normalbedingungen um 50 % reduzierten Anfahrstrom ausgegangen. Eine beträchtliche Leistungsreduktion stellt sich aufgrund der

[1] Ein einzelner Umrichterblock reicht nur dann aus, wenn die Südbahn (Ulm – Aulendorf – Friedrichshafen) elektrifiziert ist. Ansonsten wären aus Redundanzgründen 2 Umrichterblöcke nötig. Sollte die Südbahn nicht elektrifiziert werden, so müsste auch der Standort des Umrichters überdacht werden. Auch eine Nicht-Elektrifizierung der Strecke Lindau – Hergatz – Geltendorf hätte zur Folge, dass das Speisekonzept im Bodenseeraum neu erarbeitet werden müsste.

© ENOTRAC AG

Fahrzeugregulierung, die die Leistung mit sinkender Oberleitungsspannung begrenzt, ohnehin ein. Mit diesem halben Strom halbiert sich auch der Spannungsabfall auf 2.6 kV.

In den als Grundlage für die Dimensionierung der Fahrstromversorgung verwendeten Bildfahrplänen sind keine Güterzüge enthalten. Diese würden diejenigen Freiräume zwischen den Regionalzügen gelegt, in denen die Interregio fehlen. Damit entstehen nicht noch zusätzliche, härtere Belastungssituationen als im Fahrplan bereits berücksichtigt sind.

Das vorliegende Speisekonzept wurde mit DB Energie GmbH in Karlsruhe diskutiert und abgestimmt. DB Energie hat dazu selbst auch noch Berechnungen durchgeführt. Diese kommen zu denselben Ergebnissen wie sie im vorliegenden Bericht dokumentiert sind. DB Energie unterstützt dieses Speisekonzept und hat dazu einen entsprechenden Streckenspeiseplanentwurf [2] erstellt (Abbildung 6).

3.2.2 Oberleitung und Speiseleitung

Für die Oberleitung wird von einem Regeltyp der DB AG ausgegangen. Sie muss für eine Geschwindigkeit von mindestens 160 km/h ausgelegt sein. Dazu bieten sich die Typen Re160 bzw. Re200 an. Gemäß Aussage der DB Netz AG wird heute mehrheitlich nur noch der Typ Re200 realisiert, wobei dies auf die Kosten keine Auswirkungen hat. Die Oberleitung wird über dem Gleis in einem Zickzack geführt. Dieser ist in Deutschland grösser als in der Schweiz. Da die Strecke vollständig auf deutschem Gebiet verläuft, dürfte vermutlich auch ein deutscher Zickzack vorgesehen werden. Der Zickzack hat keine wesentliche Relevanz für die vorliegende Kostenermittlung.

Das Kettenwerk pro Gleis besteht aus:

– einem Fahrdraht Ri 100
– einem Tragseil Bz II 50.

Zur Verbesserung der Leitungsimpedanz ist zwischen Radolfzell und Friedrichshafen an den Masten ein Rückleiterseil 95 mm^2 Cu vorgesehen. Zudem dienen die 2 Fahrschienen der Stromrückleitung. Auf dem ganzen Abschnitt Radolfzell – Friedrichshafen wird die Oberleitung durch eine parallele schaltbare Verstärkungsleitung 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St im Querschnitt verstärkt. Zwischen dem Unterwerk Singen und dem Schaltposten Radolfzell ist eine zusätzliche Speiseleitung 2x 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St vorgesehen.

Die Stromtragfähigkeit des vorgeschlagenen Kettenwerks, der Verstärkungsleitung und der Speiseleitung wurde hinsichtlich der auftretenden Belastungen überprüft. Das Einspur-Kettenwerk weist bei voll abgenutztem Fahrdraht zusammen mit der Verstärkungsleitung ein Kupferäquivalent von rund 270 mm^2 Cu auf. Als Richtgröße lassen sich damit 10-Minutenströme von 1'100 A übertragen.

Berechnungen zeigen, dass beim Betrieb mit Flirt-Doppeltraktion und Ausfall des Umrichterwerks Markdorf selbst im Extremfall auf der Einspur-Oberleitung Spitzenströme von weniger als 1'100 A auftreten. Diese werden insbesondere durch gleichzeitige Anfahrten hervorgerufen. Die zugehörigen 10-Minutenbelastungen sind deutlich niedriger, so dass die zulässige Belastung der Oberleitung klar nicht erreicht wird.

© ENOTRAC AG

3.2.3 Schaltapparate

Schaltapparate im statischen Umrichterwerk werden hier und in den nachfolgenden Kapiteln nicht explizit aufgeführt. Sie sind Teil dieses Umrichterwerkes.

Neue Leistungsschalter werden im Unterwerk Singen und bei der Anbindung bei den Bahnhöfen Radolfzell und Friedrichshafen nötig sein. Dazu gehören auch die nötigen Ausrüstungen für den Oberleitungsschutz. Zusätzlich werden Lastschalter und/oder Trenner bei den Bahnhöfen benötigt. Die Schaltapparate sind Standardmaterial.

3.2.4 Leittechnik

Zur Fernsteuerung der Schaltapparate und des Umrichterwerks wird eine entsprechende Leittechnik erforderlich sein. Diese dürfte in die bestehenden Fernsteuersysteme der DB integriert werden. Neue Leitstellen sind voraussichtlich nicht erforderlich. Es wird auch davon ausgegangen, dass für die Datenübertragung ein bestehendes Übertragungsnetz genutzt werden kann und somit lediglich die Steuerungselemente vor Ort, die jeweilige Ankopplung an das Datennetz und das entsprechende Engineering erforderlich sein werden.

3.2.5 Anpassungen an Bauten

Für die zu installierende Oberleitung unzureichende Streckenprofile könnten Anpassungen an bestehenden Bauten erforderlich machen. Primär besteht dieses Risiko bei Straßenüberführungen und Tunneln. Seitliche bauliche Einschränkungen bestehen für die Errichtung einer Oberleitung in der Regel nicht, bzw. es lassen sich dafür mit nicht allzu viel Aufwand Lösungen finden. Enorme Kosten verursachen hingegen Anpassungen an Überführungen, Brücken und vor allem die Vergrößerung von Tunnelprofilen. Die Erweiterung von Tunnelprofilen bzw. die Absenkung der Fahrbahn sind oftmals nicht nur hinsichtlich Kosten eine Herausforderung sondern auch hinsichtlich deren technischen Umsetzung. Detaillierte Abklärungen zu den nötigen Anpassungen an Bauten sind sehr aufwändig und es war nicht vorgesehen, solche im Rahmen dieser Studie durchzuführen. Das Zusammensuchen von gültigem Grundlagematerial zu den Bauten ist kompliziert, aufwändig und zeitintensiv, weil die Daten an verschiedenen Stellen innerhalb der DB-Organisation ausfindig gemacht werden müssen. An dieser Stelle beschränken wir uns auf eine grobe, noch relativ unverbindliche und nicht abschließende Einschätzung der Situation. Wir haben aber versucht, allfällige Hürden zu identifizieren und wenn möglich zu beurteilen.

Aufgrund einer Videoaufnahme einer Führerstandsfahrt ([6] und [7]) konnte eine erste optische Beurteilung der Höhe der Überführungsbauwerke vorgenommen werden. Dabei wurde der Eindruck gewonnen, dass es möglich sein sollte, eine Oberleitung unter den Brücken durchzuführen. Einzig bei zwei Straßenüberführungen etwa bei km 0.900 (Ausfahrt Radolfzell) und km 48.000 (Bahnhof Manzell) scheint die lichte Höhe für eine Oberleitung ausgesprochen knapp zu sein. Selbstverständlich wird jede Überführung hinsichtlich ihrer lichten Höhe anhand von Plänen noch im Einzelnen beurteilt werden müssen.

Für eine Kettenwerk-Oberleitung dürfte der vorhandene Platz in den Tunneln kaum ausreichen. Alternativ besteht aber die Möglichkeit eine Deckenstromschiene einzubauen. Diese benötigt in der Höhe weit weniger Platz als ein Kettenwerk. Aufgrund der verfügbaren Tunnel Querprofilen [5] der DB Netz AG dürfte mit einer Deckenstromschiene auch der minimale Stromabnehmerraum (für die

© ENOTRAC AG

deutsche Stromabnehmerwippe) überall sichergestellt sein. Ausgehend von einer minimalen Fahrdrahthöhe von 4.95 m ergibt eine Beurteilung der Platzverhältnisse folgendes:

Brandbühltunnel (km 4.761 - 5.016, Radolfzell – Stahringen)
maximale lichte Höhe: 5.7 m, seitlicher Abstand zum Gewölbe auf einer Höhe von 4.95 m: je 2 m links und rechts von der Gleisachse. Eine Deckenstromschiene dürfte eingebaut werden können.

Überlinger West-Tunnel (km 17.865 - 18.814, Überlingen Therme – Überlingen)
maximale lichte Höhe: 5.7 m, seitlicher Abstand zum Gewölbe auf einer Höhe von 4.95 m: je 1.5 m links und rechts von der Gleisachse. Eine Deckenstromschiene dürfte eingebaut werden können.

Überlinger Ost-Tunnel (km 18.972 - 19.587, Überlingen – Überlingen-Nußdorf)
maximale lichte Höhe: 5.7 m, seitlicher Abstand zum Gewölbe auf einer Höhe von 4.95 m: 1.2 m links und 1.5 m rechts von der Gleisachse. Eine Deckenstromschiene dürfte knapp eingebaut werden können.

Bei den Eisenbahnbrücken wurden die Befestigungsmöglichkeiten für die Oberleitungsmaste nicht untersucht. Es gibt nicht viele lange Brücken auf dieser Strecke, so dass die Brückenoberleitungen in der Kostenschätzung nicht von Bedeutung sind.

3.2.6 Nichtionisierende Strahlung

Entlang der Strecke befinden sich vereinzelt einige Liegenschaften relativ nahe am Bahntrassee, wie zum Beispiel die Wärterhäuser. Durch die Elektrifizierung könnten diese Liegenschaften einer erhöhten Belastung durch nichtionisierende Strahlung ausgesetzt sein. Deutschland kennt aber derzeit keine Vorschriften, die für elektrische Bahnen einen Emissionsgrenzwert festlegen. In Deutschland gilt für die nichtionisierende Strahlung die 'Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV)' [4]. Diese besagt für mit 16.7 Hz elektrifizierte Eisenbahnen lediglich, dass ein Immissionsgrenzwert von 300 µT eingehalten werden muss. Bei Eisenbahnen wird dieser Grenzwert nur in unmittelbarer Nähe der Oberleitung und der Schienen erreicht. Das NIS-Gesetz (NISG) vom 29.07.2009 enthält keine Anforderungen für elektrische Eisenbahnen. Auch den sich mit NIS beschäftigenden Stellen der DB Netz AG liegen keine anders lautenden Informationen vor. Wegen der NIS sind voraussichtlich keine besonderen Maßnahmen und Kosten zu erwarten.

© ENOTRAC AG

4 KOSTENSCHÄTZUNG

4.1 Einheitspreise

4.1.1 Statische Umrichter

Obwohl statische Umrichter heutzutage standardmäßig hergestellt werden, bewegen sich die Kosten für eine gesamte Anlage doch in einem größeren Spektrum. Die Umrichter selbst, und auch der 16.7 Hz-Teil, sind an sich relativ genau kalkulierbar. Folgende Faktoren haben zudem ihre Auswirkungen auf die Gesamtkosten einer Anlage:

- Leistung 50 Hz-seitig, Leistung 16.7 Hz-seitig, Trafogrössen wirken sich sehr direkt auf die Kosten aus. Falls die Umrichter schwergewichtig zur Phasenschiebung verwendet werden, sind die Primär- und Sekundärleistungen allenfalls stark unterschiedlich. Die Rohstoffpreise von Kupfer und Eisen wirken sich sehr direkt auf die Preise der Transformatoren aus.
- Anschluss an die 50 Hz-Anlage, Schaltfelder, Verbindungsleitungen, Kabelanlage
- Verbindungsleitung vom Umrichter zur Strecke
- Fundamente, bauliche Maßnahmen, Aussen-/Innenanlage
- Landerwerb
- 1 Umrichterblock allein, 2 redundante Blöcke.

Die Leistungsbemessung der statischen Umrichter muss mittels Lastberechnungen und Simulationen erfolgen. Solche erlauben eine Optimierung des Gesamtsystems und vor allem auch der Größe der Umrichter. Dabei sind mögliche Ausfallszenarien mit einzubeziehen.

Für die derzeitige Projektphase kann daher für den Umrichterblock nur ein pauschaler Kostenansatz eingesetzt werden. Eine verfeinerte Kostenermittlung muss in der nächsten Phase vorgenommen werden, sobald das Speisekonzept definitiv feststeht und die erforderlichen Leistungen, unter Berücksichtigung aller möglichen Betriebszustände, festgelegt sind. Für einen Umrichterblock wird ein mittlerer Kostenansatz von EUR 8 Mio. eingesetzt. Damit dürfte ein statischer Umrichterblock der Leistungsklasse 15 MVA zu realisieren sein. Diese Kostenschätzung beruht auf verschiedenen Quellen sowie auf in den vergangenen Jahren realisierten statischen Umrichter. Für Markdorf wird ein solcher Block angenommen. In Markdorf ist keine redundante Einspeisung vorgesehen. Falls diese ausfällt, wird die Bodensee-Gürtelbahn ab den angrenzenden Strecken versorgt (vorausgesetzt, dass sie auch elektrifiziert sind). Das Speisekonzept ist in Kapitel 3.2.1 beschrieben. Da die Schaltanlage, wo der Umrichter errichtet werden könnte, vom Bahntrassee durch besiedeltes Gebiet getrennt ist, muss mit einer eher aufwändigen Leitungsführung vom Umrichter zum Bahntrassee gerechnet werden. Hierfür wird ein zusätzlicher Betrag von EUR 0.5 Mio. vorgesehen, so dass für die Umrichteranlage Markdorf eine Kostenschätzung von insgesamt EUR 8.5 Mio. resultiert.

4.1.2 Oberleitung und Speiseleitung

Die Basis für die Kostenberechnung bildet der Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [3]. Darin ist der Preis für 1 km Oberleitung mit EUR 178'950.-- veranschlagt. Die in der Zwischenzeit

© ENOTRAC AG

eingetretene Teuerung ist wegen den massiv gestiegenen Kupfer- und Stahlpreisen überdurchschnittlich. Sie wird hier mit rund 40 % angenommen. Die früheren DB-Oberleitungen waren nicht mit einem Rückleiterseil versehen. Für dieses Projekt wird ein solches vorgesehen, was mit zusätzlichen Kosten von EUR 15'000.-- pro km eingerechnet wird.

- Doppelspur-Oberleitung freie Strecke gerade

  Mit den vorgenannten Zahlen resultieren für die Oberleitung Kosten von EUR 265'000.--/km pro Gleis und damit für den Kilometer Doppelspur-Oberleitung EUR 530'000.--. Zusätzlich wird eine Hilfs- bzw. Verstärkungsleitung auf den Oberleitungsmasten montiert. Als Mehrpreis werden EUR 50'000.-- / Kilometer eingesetzt. Damit resultieren für den Kilometer Doppelspur-Oberleitung Kosten von EUR 580'000.--.

- Doppelspur-Oberleitung freie Strecke Kurve

  In Kurven wird die Oberleitungskonstruktion etwas aufwändiger und es müssen mehr Masten gestellt werden. Dies verteuert die Oberleitung um einen gewissen Faktor. Ein mittlerer Faktor von etwa 1.2 wurde angenommen. Damit resultieren für den Kilometer Doppelspur-Oberleitung Kosten von EUR 636'000.-- plus EUR 50'000.-- für die Verstärkungsleitung.

- Einspur-Oberleitung freie Strecke gerade

  Das Kettenwerk ist identisch mit demjenigen der Doppelspur-Oberleitung. Zusätzlich wird eine Hilfs- bzw. Verstärkungsleitung auf den Oberleitungsmasten montiert. Als Mehrpreis werden EUR 50'000.-- / Kilometer eingesetzt. Damit resultieren für den Kilometer Einspur-Oberleitung Kosten von EUR 315'000.--.

- Einspur-Oberleitung freie Strecke Kurve

  Analog zur Doppelspur-Oberleitung wird mit einen mittleren Faktor von 1.2 gerechnet. Damit resultieren für den Kilometer Einspur-Oberleitung Kosten von EUR 318'000.-- plus EUR 50'000.-- für die Verstärkungsleitung.

- Einspur-Oberleitung Tunnel

  Es wird davon ausgegangen, dass wegen den engen Platzverhältnissen in den Tunneln eine Deckenstromschiene notwendig sein wird. Eine solche ist etwa 20 % teurer als ein Kettenwerk und kostet damit EUR 318'000.-- pro Kilometer. Zusätzlich wird für die Hilfs- bzw. Verstärkungsleitung ein Kabel benötigt. Dieses und der erforderliche Rohrblock werden mit EUR 150'000.-- pro Kilometer budgetiert. Damit kommt der Kilometer Oberleitung mit paralleler Kabelleitung auf EUR 468'000.-- zu stehen.

- Oberleitung Bahnhof

  Im Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [3] ist für die Bahnhofsoberleitung gegenüber der freien Strecke ein Faktor 1.2 aufgeführt. Damit resultieren für den Kilometer zusätzlicher Oberleitung in Bahnhöfen Kosten von EUR 318'000.--.

- Weichenbespannung

  Der Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998 [3] veranschlagt für die Weichenbespannung EUR 40'903,35. Da der Materialanteil an den Kosten geringer ist als bei der Oberleitung, wird mit einem Teuerungszuschlag von rund 20 % gerechnet und EUR 50'000.-- eingesetzt.

© ENOTRAC AG

- Speiseleitung

  Zwischen Singen und Radolfzell muss auf den bestehenden Oberleitungsmasten eine Speiseleitung nachgerüstet werden. Eine solche ist baulich ähnlich wie eine Verstärkungsleitung, besteht jedoch aus Leiterseilen 2x 240 mm^2 Al – 61 mm^2 St. Es wird angenommen, dass keine zusätzlichen Masten gestellt werden müssen. Es wird jedoch empfohlen, die Oberleitung auch mit mindestens einem Rückleiterseil nachzurüsten. Damit resultiert für die auf bestehenden Masten aufgesetzte Speiseleitung ein Kostenansatz von EUR 115'000.-- pro Kilometer.

4.1.3 Schaltapparate

Im Unterwerk Singen und beim Anschluss an das bestehende Oberleitungsnetz in Friedrichshafen Stadt werden je 1 Leistungsschalter mit den Geräten für den Oberleitungsschutz vorgesehen. In Radolfzell ist ein kompletter neuer Schaltposten mit insgesamt 5 Leistungsschaltern erforderlich (siehe [2]). Bei den Umrichterwerken sind Leistungsschalter und Schutzgeräte in den Kosten der Umrichter integriert.

Bei den Spurwechseln, den Schutzstrecken und in Bahnhöfen werden Lasttrennschalter benötigt. Spurwechsel und Schutzstrecken sind keine vorgesehen, die erforderliche Anzahl Lasttrennschalter für die Bahnhöfe ist im Mengengerüst eingerechnet. Mit eingerechnet sind auch Lasttrennschalter zwischen der Verstärkungsleitung und der Oberleitung. Es wird angenommen, dass eine elektrische Speisung für die Schalterantriebe jeweils vor Ort vorhanden ist.

- Leistungsschalter mit Oberleitungsschutz

  Pro Leistungsschalter mit zugehörigem Oberleitungsschutz muss mit Kosten von EUR 100'000.-- gerechnet werden.

- Lasttrennschalter

  In den Kosten sind die Lasttrennschalter, ein elektrischer Antrieb und ein Schaltergerüst eingerechnet, wofür pro Schalter ein Betrag von EUR 15'000.-- kalkuliert wurde.

4.1.4 Leittechnik

Für die Kalkulation werden die einzelnen Ankoppelungsstellen an das Fernsteuersystem als Einheit definiert. Dazu gehören die vor-Ort-Steuerungselemente, die Ankopplung an das Datennetz, das Engineering und die Erstellung des Schaltbildes. Örtlich bei einander liegende Schaltapparate werden auf eine gemeinsame Ankoppelungsstelle geführt. Für jede solche Ankoppelungsstelle, die dezentral auf der Strecke verteilt sind, werden Kosten von EUR 35'000.-- eingesetzt.

4.1.5 Erschwernisse für die Erstellung

Es wird angenommen, dass der aktuelle Bahnbetrieb während dem Bau der gesamten Oberleitungsanlage aufrechterhalten werden muss. Dadurch entstehen Zusatzkosten für Provisorien, Nacht- und Überzeitzuschläge, Sicherheitseinrichtungen und sonstige Erschwernisse. Dafür werden Mehrkosten von 30 % auf den Erstellungskosten (ohne Umrichterblöcke) angenommen.

© ENOTRAC AG

4.1.6 Anpassungen an Bauten

Es sollten keine Anpassungen an Tunneln nötig sein.

4.1.7 Maßnahmen wegen nichtionisierender Strahlung

Es ist zu erwarten, dass wegen der Elektrifizierung keine besonderen Maßnahmen zur Begrenzung der nichtionisierenden Strahlung NIS nötig sind.

4.1.8 Projekt Engineering

Für die Aufwendungen wie Vorprojekt, Erstellen eines Bauprojekts, Einholen der notwendigen Bewilligungen, Planfeststellungsverfahren, Ausschreibungen bis zur Vergabe an Unternehmer, Abnahme und Projektabschluss, sowie für Diverses werden 15 % von den Erstellungs- und Erschwerniskosten eingesetzt. Wir gehen davon aus, dass die Ingenieur- und Planungskosten für die Ausführung bis zur Abnahme in den Werten des DB Kostenkennwertekatalogs [3] und damit in den vorgängig beschriebenen Anlagenkosten bereits enthalten sind.

4.2 Mengengerüst und Gesamtkosten

Das für die Elektrifizierung der gesamten Bodensee-Gürtelbahn Radolfzell – Friedrichshafen erforderliche Material und das Mengengerüst sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Für die Anlagen resultiert eine Kostenschätzung von EUR 35.5 Mio.

Für die Erstellung der Anlagen unter Bahnbetrieb wird ein Erschwerniszuschlag von 30 % (auf die streckenseitige Ausrüstung) eingesetzt, was EUR 8.1 Mio. ausmacht.

Die Projektierung, das Engineering, die Bewilligungsverfahren sowie Diverses werden mit insgesamt 15 % veranschlagt. Damit resultieren geschätzte Gesamtkosten von EUR 50.1 Mio. (exkl. MWST).

Die Kostenschätzung enthält zusätzlich zu den Schätzungsungenauigkeiten relativ große Unsicherheitsfaktoren was die Rohstoffpreise anbelangt. Allein in den vergangenen 2 Jahren haben sich die Kupferpreise vorübergehend nahezu verdreifacht. Auch die Stahlpreise haben enorme Ausschläge erfahren. Da ein beträchtlicher Teil der Anlagenkosten sehr direkt von den Rohstoffpreisen von Kupfer, Eisen und Stahl abhängt, können die kalkulierten Kosten nur mit einem entsprechenden Vorbehalt verwendet werden. Dieser Vorbehalt kann bis zu einer Unsicherheit von +20…+40 % reichen.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Kostenschätzung keine baulichen Anpassungen an den Tunneln enthält, wobei mit solchen nicht zu rechnen ist. Eine abschließende Beurteilung muss durch einen Baufachmann erfolgen; sie ist relativ aufwändig und liegt außerhalb dem Rahmen der vorliegenden Studie. Allfällige Anpassungen könnten sich allerdings auf einen namhaften Betrag belaufen. Wegen der NIS dürften wohl kaum Maßnahmen mit wesentlichen finanziellen Folgen nötig sein.

© ENOTRAC AG

Pos.	Systeme und Apparate	Anzahl	ME	Einheit	Anz. pro Einheit	Gesamtzahl	Einheitspreis [EUR]	Gesamtpreis [EUR]
1	Statischer Umrichterblock 15 MVA	1	Stk	Markdorf	1	1	8'500'000.00	8'500'000.00
2	Oberleitung freie Strecke gerade 2-gleisig	4.422	km	Gleis	2	8.844	265'000.00	2'343'660.00
3	Oberleitung freie Strecke Kurve 2-gleisig	1.458	km	Gleis	2	2.916	318'000.00	927'288.00
4	Oberleitung freie Strecke gerade 1-gleisig	33.819	km	Gleis	1	33.819	315'000.00	10'652'985.00
5	Oberleitung freie Strecke Kurve 1-gleisig	16.683	km	Gleis	1	16.683	368'000.00	6'139'344.00
6	Oberleitung Tunnel 1-gleisig	1.819	km	Gleis	1	1.819	468'000.00	851'292.00
7	zusätzliche Oberleitung Bahnhof	5.380	km	Gleis	1	5.380	318'000.00	1'710'840.00
8	Speiseleitung Singen – Radolfzell	7.200	km	2x240 + ES	1	7.200	115'000.00	828'000.00
9	Verstärkungsleitung für die 2-gleisigen Abschnitte	5.880	km	240 Al	1	5.880	50'000.00	294'000.00
10	Weichenbespannung	17	Stk		1	17	50'000.00	850'000.00
11	Leistungsschalter, Oberleitungsschutz	7	Stk		1	7	100'000.00	700'000.00
12	Trennschalter Bahnhöfen und Verstärkungsleitung	29	Stk		1	29	15'000.00	435'000.00
13	Leittechnikanbindung	36	Stk		1	36	35'000.00	1'260'000.00
	Zwischentotal 1							**35'492'409.00**
14	Erschwernis Realisierung unter Betrieb (auf Pos 2-13)	30	%					8'097'723.00
	Zwischentotal 2							**43'590'132.00**
15	Projekt, Engineering, Bewilligungsverfahren, Diverses	15	%					6'538'520.00
	Total							**50'128'652.00**

Tabelle 1: Mengengerüst und Kostenschätzung für die Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn Radolfzell – Friedrichshafen Stadt der DB AG

km	Länge [m]	Strecke			Bemerkung	Bahnhof		Lasttrennschalter	Weichenbespannung	Spurwechsel	Umrichterwerk
		Typ	Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Länge [m]		Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Bahnhof-Länge [m]				
-0.050	126	GERADE	2	0	-0.050: **Radolfzell**, schon elektrifiziert	6	0	1			
0.076	404	KURVE	2	0	schon elektrifiziert			1			
0.480	63	GERADE	2	0	schon elektrifiziert						
0.543	127	KURVE	2	0	schon elektrifiziert						
0.670	22	GERADE	2	22							
0.692	276	KURVE	2	276							
0.968	2611	GERADE	2	2611	1.465: **Radolfzell-Haselbrunn**						
3.579	443	KURVE	2	443							
4.022	239	GERADE	2	239				1			
4.261	85	GERADE	1	85	Wechsel 2->1-gleisig			1	1		
4.346	415	KURVE	1	415							
4.761	255	TUNNEL	1	255	Brandbühl						
5.016	115	KURVE	1	115							
5.131	110	GERADE	1	110							
5.241	537	GERADE	2	537	Wechsel 1->2-gleisig			1	1		
5.778	146	KURVE	2	146							
5.924	692	GERADE	2	692							
6.616	401	KURVE	2	401							
7.017	299	GERADE	2	299	7.100: **Stahringen**	2	0	1			
7.316	192	KURVE	2	192							
7.508	22	GERADE	2	22							
7.530	110	GERADE	1	110	Wechsel 2->1-gleisig			1	1		
7.640	0	GERADE	1	0	km-Sprung						
0.540	1498	GERADE	1	1498							
2.038	857	KURVE	1	857							
2.895	1501	GERADE	1	1501							
4.396	326	KURVE	1	326							
4.722	1251	GERADE	1	1251							
5.973	196	KURVE	1	196							
6.169	1977	GERADE	1	1977							
8.146	186	KURVE	1	186							
8.332	282	GERADE	1	282	8.494: **Ludwigshafen**	2	810	2	1		
8.614	133	KURVE	1	133				1	1		
8.747	230	GERADE	1	230							
8.977	253	KURVE	1	253							
9.230	200	GERADE	1	200							
9.430	128	KURVE	1	128							
9.558	30	GERADE	1	30							
9.588	141	KURVE	1	141							
9.729	192	GERADE	1	192							
9.921	259	KURVE	1	259							
10.180	173	GERADE	1	173							

km	Länge [m]	Strecke			Bemerkung	Bahnhof		Lasttrennschalter	Weichenbespannung	Spurwechsel	Umrichterwerk
		Typ	Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Länge [m]		Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Bahnhof-Länge [m]				
10.353	95	KURVE	1	95							
10.448	75	GERADE	1	75							
10.523	154	KURVE	1	154							
10.677	83	GERADE	1	83							
10.760	94	KURVE	1	94							
10.854	597	GERADE	1	597							
11.451	81	KURVE	1	81							
11.532	66	GERADE	1	66							
11.598	118	KURVE	1	118							
11.716	77	GERADE	1	77							
11.793	171	KURVE	1	171							
11.964	57	GERADE	1	57							
12.021	107	KURVE	1	107							
12.128	113	GERADE	1	113							
12.241	138	KURVE	1	138							
12.379	204	GERADE	1	204	12.563: **Sipplingen**						
12.583	380	KURVE	1	380							
12.963	277	GERADE	1	277							
13.240	142	KURVE	1	142							
13.382	307	GERADE	1	307							
13.689	139	KURVE	1	139							
13.828	103	GERADE	1	103							
13.931	147	KURVE	1	147							
14.078	451	GERADE	1	451							
14.529	126	KURVE	1	126							
14.655	98	GERADE	1	98							
14.753	132	KURVE	1	132							
14.885	213	GERADE	1	213							
15.098	255	KURVE	1	255							
15.353	119	GERADE	1	119							
15.472	250	KURVE	1	250							
15.722	220	GERADE	1	220							
15.942	73	KURVE	1	73							
16.015	364	GERADE	1	364							
16.379	343	KURVE	1	343							
16.722	262	GERADE	1	262							
16.984	97	KURVE	1	97							
17.081	420	GERADE	1	420							
17.501	163	KURVE	1	163	17.515: **Überlingen Therme**	3	880	2	2		
17.664	29	GERADE	1	29				1	2		
17.693	56	KURVE	1	56							
17.749	24	GERADE	1	24							

km	Länge [m]	Strecke			Bemerkung	Bahnhof		Lasttrennschalter	Weichenbespannung	Spurwechsel	Umrichterwerk
		Typ	Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Länge [m]		Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Bahnhof-Länge [m]				
17.773	71	KURVE	1	71							
17.844	21	GERADE	1	21							
17.865	949	TUNNEL	1	949	Überlinger West						
18.814	36	KURVE	1	36							
18.850	122	GERADE	1	122	18.900: **Überlingen**						
18.972	615	TUNNEL	1	615	Überlinger Ost						
19.587	170	KURVE	1	170							
19.757	244	GERADE	1	244							
20.001	323	KURVE	1	323							
20.324	510	GERADE	1	510							
20.834	367	KURVE	1	367							
21.201	215	GERADE	1	215	21.400: **Überlingen-Nussdorf**						
21.416	320	KURVE	1	320							
21.736	1743	GERADE	1	1743							
23.479	242	KURVE	1	242							
23.721	434	GERADE	1	434							
24.155	98	KURVE	1	98							
24.253	1306	GERADE	1	1306							
25.559	291	KURVE	1	291							
25.850	246	GERADE	1	246							
26.096	156	KURVE	1	156							
26.252	387	GERADE	1	387	26.445: **Uhldingen-Mühlhofen**	2	840	2	1		
26.639	106	KURVE	1	106				1	1		
26.745	177	GERADE	1	177							
26.922	166	KURVE	1	166							
27.088	464	GERADE	1	464							
27.552	428	KURVE	1	428							
27.980	430	GERADE	1	430							
28.410	314	KURVE	1	314							
28.724	644	GERADE	1	644							
29.368	758	KURVE	1	758							
30.126	882	GERADE	1	882							
31.008	1013	KURVE	1	1013							
32.021	909	GERADE	1	909	32.294: **Salem**	2	720	2	1		
32.930	556	KURVE	1	556				1	1		
33.486	944	GERADE	1	944							
34.430	295	KURVE	1	295							
34.725	1300	GERADE	1	1300							
36.025	400	KURVE	1	400							
36.425	669	GERADE	1	669							
37.094	424	KURVE	1	424	37.442: **Bermatingen-Ahausen**						
37.518	617	GERADE	1	617							

km	Länge [m]	Strecke			Bemerkung	Bahnhof		Lasttrennschalter	Weichenbespannung	Spurwechsel	Umrichterwerk
		Typ	Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Länge [m]		Anzahl Gleis	Zu elektrifizierende Bahnhof-Länge [m]				
38.135	126	KURVE	1	126							
38.261	358	GERADE	1	358							
38.619	266	KURVE	1	266							
38.885	568	GERADE	1	568							
39.453	164	KURVE	1	164							
39.617	391	GERADE	1	391							
40.008	329	KURVE	1	329							
40.337	1344	GERADE	1	1344	41.137: **Markdorf**	2	860	2	1		1
41.681	312	KURVE	1	312				2	1		
41.993	2281	GERADE	1	2281	43.000: **Lipbach (geplant)**						
44.274	152	KURVE	1	152							
44.426	1197	GERADE	1	1197	44.833: **Friedrichshafen-Kluftern**						
45.623	913	KURVE	1	913							
46.536	2134	GERADE	1	2134	46.773: **Friedrichshafen-Fischbach**						
			1		48.000: **Friedrichshafen-Manzell**	2	390	2	1		
48.670	358	KURVE	1	358				1	1		
49.028	440	GERADE	1	440							
49.468	652	KURVE	1	652	50.100: **Friedrichshafen Landratsamt**						
50.120	271	GERADE	1	271							
50.391	141	KURVE	1	141							
50.532	189	GERADE	1	189							
50.721	329	KURVE	1	329				1			
51.050	219	GERADE	1	219							
51.269	137	KURVE	1	137							
51.406	365	GERADE	1	365				1			
51.771		GERADE	1	0	51.771: **Friedrichshafen Stadt**	6	0	1			
	58921			**58201**			**4500**	**29**	**17**	**0**	**1**

Tabelle 2: Bestandesaufnahme für die Elektrifizierung der Bodensee-Gürtelbahn Radolfzell – Friedrichshafen der DB AG

5 REFERENZEN

[1] Elektrifizierung Hochrheinstrecke und Bodensee-Gürtelbahn, Bericht Teil A - Fahrplankonzept 2.0, 15. Dezember 2009, SMA und Partner AG, CH-8050 Zürich

[2] Streckenspeiseplanentwurf 15-kV, Bodensee Gürtelbahn, 23.07.09

[3] Kostenkennwertekatalog der DB mit Stand 09.1998

[4] Sechsundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BlmSchV)

[5] Tunnelprofile Brandbühl-, Überlinger West- und Ost-Tunnel, DB-Lichtraumdatenbank

[6] Bahn TV InFahrt - IRE 3107 BR VT 611 001 Basel Bad Bf – Ludwigshafen (Bodensee), Februar 2008

[7] Bahn TV InFahrt - Ludwigshafen (Bodensee) – Ulm, März 2009