Universität Stuttgart

Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen

Diplomarbeit:

Ansätze für betriebliche und infrastrukturelle Verbesserungen einer Regionalverkehrsstrecke am Beispiel Basel – Lindau

Vorgelegt von
cand.-Ing. Johannes Schlaich

Betreuung an der Universität Stuttgart:
Prof. Dr.-Ing. Ullrich Martin
Dipl.-Ing. Marco Neuber

Betreuung bei DE-Consult Karlsruhe, Niederlassung Südwest:
Dipl.-Ing. Günter Koch

Stuttgart, den 29. März 2004

Abstract

This thesis elaborates different approaches concerning the infrastructural and operational improvements of a regional railway taking the railway line Basel to Lindau in the South of Germany as an example. It is not possible to apply the method used in this thesis to any other railway without making further adaptations due to the great variety of characteristic features for railways, weak points regarding the infrastructure and the operational programme and accompanying approaches to solve the problems. Nevertheless, the methodology used in this thesis can serve as instructions for examinations of other railways.

An operational concept to be transposed in two stages is recommended for the railway line Basel to Lindau. The first stage which should come into force by December 2004 at the same time as the new timetable contains an improvement of the operational system to reduce the number of delayed trains. In order to carry out the second stage of the concept the electrification of the whole railroad as well as the double-tracked extension of the railway are necessary.

Zusammenfassung

Inhalt dieser Diplomarbeit ist die Erörterung verschiedener Ansätze zur infrastrukturellen und betrieblichen Verbesserungen einer Regionalverkehrsstrecke am Beispiel der Strecke Basel – Lindau. Aufgrund der Vielfalt von Streckencharakteristika, Schwachstellen von Infrastruktur und Betriebsprogramm und zugehörigen Lösungsansätzen ist es nicht möglich, die Vorgehensweise dieser Arbeit auf jede andere Strecke ohne Anpassungen zu übertragen. Trotzdem kann die in dieser Arbeit verwendete Methodik als Leitfaden für Untersuchungen anderer Strecken dienen.

Für die Beispielstrecke Basel – Lindau wird ein zweistufig umzusetzendes Betriebskonzept empfohlen. Während für die erste Stufe nur betriebliche Veränderungen vorgesehen sind, sind für die zweite Stufe die Elektrifizierung der gesamten Strecke sowie der zweigleisigen Ausbau von Streckenabschnitten notwendig.

INSTITUT FÜR EISENBAHN- UND VERKEHRSWESEN
Univ.- Professor Dr.-Ing. Ullrich Martin

UNIVERSITÄT STUTTGART

Postfach 80 11 40, 70511 Stuttgart
Pfaffenwaldring 7, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11/6 85-63 67/-63 68
Telefax 07 11/6 85-66 66
E-Mail: iev.vwi@po.uni-stuttgart.de
Sie erreichen uns mit den S-Bahn-Linien
S1, S2, S3 Haltestelle Universität

Diplomarbeit

im Studiengang Bauingenieurswesen

für

Herrn cand. ing. Johannes S c h l a i c h (Matrikel-Nummer 1902165)

Thema: **Ansätze für betriebliche und infrastrukturelle Verbesserungen einer Regionalverkehrsstrecke am Beispiel Basel – Lindau**

Viele regionale Strecken haben in den letzten Jahren neue Betriebsprogramme und Infrastrukturen erhalten und sind damit den Bedürfnissen der Kunden entgegengekommen. Weder Betriebsprogramm noch Infrastrukturen können statisch festbleiben, sie müssen sich den Gegebenheiten des Marktes anpassen.

Anhand einer Beispielstrecke soll in dieser Diplomarbeit die heutige betriebliche Situation analysiert und Perspektiven für Verbesserungen aufgezeigt werden.
Als Beispielstrecke wird die Hochrheinstrecke Basel – Singen – Lindau gewählt. Sie hat in den letzten Jahren eine Reihe von Ausbaumaßnahmen erfahren (2. Gleis, bogenschnelles Fahren), verschiedene Entwicklungen weisen jedoch darauf hin, dass weitergehende Überlegungen für die Zukunft erforderlich sind.

In einem ersten Schritt soll die aktuelle Situation analysiert werden. Ziel diese Analyse ist es, die Schwachstellen der heutigen Infrastruktur im Zusammenhang mit dem aktuellen Betriebsprogramm zu ermitteln.

Darauf aufbauend werden vom Bearbeiter einige Infrastrukturmaßnahmen, wie zum Beispiel ein zusätzlicher Haltepunkt Birnau (Bodensee), vorgeschlagen, ausgearbeitet und bewertet. Die Planungstiefe soll dabei der einer Vorplanung entsprechen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit ist danach die Erarbeitung verschiedene Angebotskonzepte. Dabei werden unter anderem folgende Punkte bearbeitet:

- die Anbindungen an die Knoten Basel, Schaffhausen, Singen/Radolfzell, Friedrichshafen und Lindau einschließlich der Anbindung an die Großräume Zürich, Stuttgart und München unter Berücksichtigung vorhandener Konzeptionen,
- der verdichtete Verkehr im Abschnitt (Waldshut -) Rheinfelden – Basel,
- die durchgehende S-Bahn Basel – Waldshut – Koblenz – Zürich und
- Aussagen zu möglichen Güterverkehrstrassen im Abschnitt Basel – Rheinfelden.

Nach einer Bewertung der erarbeiteten Konzepte anhand selbst entwickelter Kriterien erfolgt ein begründeter Vorschlag für ein bevorzugtes Konzept.

Die Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit mit der DE-Consult Deutsche Eisenbahn-Consulting GmbH, Niederlassung Karlsruhe, erstellt.

Die Diplomarbeit soll in kurzer, allgemeinverständlicher Form die Arbeitsschritte und ihre Ergebnisse zusammenfassen. Ggf. sind zusätzliche Erläuterungen, Skizzen, Tabellen etc. in einem Anhang zusammenzufassen.

Folgende allgemeine Randbedingungen sind bei der Bearbeitung zu beachten:

- Falls sinnvoll, sind geeignete Softwarewerkzeuge zu verwenden. Insbesondere soll das Fahrplanbearbeitungssystem FBS verwendet werden.
- Die Dokumentation ist in MS Word zu erstellen.
- Die wesentlichen Ergebnisse sind zusätzlich in einer präsentationsgerechten Form zusammenzufassen und im Rahmen eines Vortrages vorzustellen. Außerdem ist ein Plakat nach Vorlage des Institutes zu erstellen.
- Die Arbeit ist in dreifacher Ausfertigung – davon ein Exemplar gebunden – sowie zusätzlich auf Datenträger abzugeben.
- Verfügbare Literatur ist auszuwerten (unter Angabe der Quellen).
- Ein regelmäßiger Kontakt zu den fachlichen Betreuern wird empfohlen.

Sollten sich im Rahmen der Bearbeitung Hindernisse zeigen, die eine Bearbeitung der Aufgabenstellung nicht im vorgegebenen Umfang oder mit der vorgegebenen Zielsetzung zulassen, ist die Aufgabenstellung in Absprache mit dem Institut anzupassen.

Die Bearbeitungszeit beträgt 2 Monate.

Tag der Ausgabe: 17.02.2004
Tag der spätesten Abgabe: 16.04.2004

Prof. Dr.-Ing. Ullrich Martin

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit eigenständig verfasst habe und keine anderen Hilfestellungen und Quellen als die angegebenen in Anspruch genommen habe.

Insbesondere habe ich keinen bezahlten Dienst mit der Anfertigung der gesamten Arbeit oder Teilen der Arbeit beauftragt.

Stuttgart, den 29.03.2004

Johannes Schlaich

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG 1
1.1. EINFÜHRUNG UND AUFGABENSTELLUNG 1
1.2. ÜBERBLICK 2
2. REGIONALVERKEHRSSTRECKE BASEL – LINDAU 3
2.1. STRECKENVERLAUF 3
2.2. EINORDNUNG INS EISENBAHNNETZ, BUNDESVERKEHRSWEGEPLANUNG 4
3. GRUNDLAGEN UND DEFINITIONEN 7
3.1. FAHRZEITZUSCHLÄGE UND PUFFERZEITEN 7
3.2. ANGEBOTSPLANUNG 9
3.3. INTEGRALER TAKTFAHRPLAN 20
3.4. FAHRZEUGE IM BETRACHTETEN REGIONALVERKEHR 24
4. ANALYSE DES IST-ZUSTANDES 26
4.1. HEUTIGES ANGEBOT 26
4.2. FAHRPLANANALYSE MIT DER SOFTWARE FBS 27
4.3. ANALYSE VON VERSPÄTUNGSDATEN 33
4.4. ZUSAMMENFÜHRUNG DER ERGEBNISSE 38
5. RANDBEDINGUNGEN 39
5.1. KNOTENZEITEN 39
5.2. S-BAHN 40
5.3. PLANUNGEN DES SCHWEIZER KANTONS SCHAFFHAUSEN 41
5.4. PLANUNGSPARAMETER 41
5.5. NACHFRAGE 42
6. UNTERSUCHUNG VON INFRASTRUKTURMAßNAHMEN 46
6.1. ZWEIGLEISIGER AUSBAU VON TEILSTRECKEN 46
6.2. ZUSÄTZLICHE HALTEPUNKTE 50
6.3. ELEKTRIFIZIERUNG 53
6.4. NEUBAUSTRECKE MEERSBURG 57
7. ERARBEITUNG VON ANGEBOTSKONZEPTEN 64
7.1. KONZEPT 1: KURZFRISTIGE VERSPÄTUNGSVERMEIDUNG 64
7.2. KONZEPT 2: MITTELFRISTIGE MODERNISIERUNG DER RB-FAHRZEUGFLOTTE 68
7.3. KONZEPT 3: LANGFRISTIGES INFRASTRUKTURAUSBAU 71
7.4. ABSCHÄTZUNG DER KAPAZITÄTEN FÜR DEN GÜTERVERKEHR 78
7.5. ZUSAMMENFASSUNG UND HANDLUNGSEMPFEHLUNG 79
8. ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERER UNTERSUCHUNGSBEDARF 81
9. VERZEICHNISSE 83
9.1. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN 83
9.2. VERZEICHNIS DER IM ANHANG ABGEDRUCKTEN ANLAGEN 85
9.3. VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN 86
9.4. QUELLENVERZEICHNIS 88
9.5. STICHWORTVERZEICHNIS 92

1. Einleitung

1.1. Einführung und Aufgabenstellung

Bei allen Eisenbahnverkehrsunternehmen gibt es Abweichungen vom Regelbetrieb. Dazu schrieb DILLI bereits 1952:

„Man kann mit Fug und Recht behaupten, dass es kein Eisenbahnunternehmen geben kann und auch nicht gibt, dessen Betriebsabwicklung sich dauernd störungsfrei, d.h. dauernd ohne Verspätungen vollzieht.“ (vgl. [15], S. 21)

Diese einfache, aber wichtige Erkenntnis hat trotz aller Versuche der Verspätungsbekämpfung auch heute, über 50 Jahre später, ihre Gültigkeit nicht verloren. Geändert hat sich im Gegensatz dazu jedoch hat sich dagegen aber die Konkurrenzsituation für das Verkehrssystem Eisenbahn durch das Auto und das Flugzeug. Umso bedeutsamer ist es also, Lösungen zu finden, um trotz der unvermeidbaren Verspätungen ein möglichst attraktives Angebot schaffen zu können. Deshalb muss neben den Gesichtspunkten Sicherheit, Schnelligkeit, Häufigkeit, Anschlusssicherung, Wirtschaftlichkeit und Umwelt vor allem auch „Seine Majestät, die Toleranz“[1] bei der Angebotsplanung berücksichtigt werden.

Nur mit Hilfe von ausreichenden Toleranzen (Pufferzeiten, Fahrzeitzuschläge) kann eine hohe Betriebsqualität erreicht werden. Andererseits senken Pufferzeiten jedoch die Fahrplannennleistung einer Strecke, womit es häufig unumgänglich ist, zur Lösung von Konfliktschwerpunkten gleichzeitig auch über infrastrukturelle Verbesserungen nachzudenken, welche die Leistungsfähigkeit erhöhen und auf diese Weise ermöglichen, mit größeren Toleranzen zu planen.

Auch die Züge auf der Beispielstrecke Basel – Lindau erfahren häufig Folgeverspätungen. Teilweise lässt die hohe Belastung nur unzureichende Pufferzeiten zu, teilweise liegen die Fahrplantrassen aber auch aus anderen Gründen zeitlich sehr eng zusammen.

Aufgabe dieser Arbeit ist es, unter Berücksichtigung neuer Infrastrukturvorgaben und den gegebenen Randbedingungen eine Angebotsplanung zu erstellen

Zielvorgabe ist dabei, dass nach den notwendigen Baumaßnahmen ein für Kunden und Betreiber attraktives Gesamtkonzept geplant wird, so dass das Verkehrssystem Bahn in Zukunft einen größeren Anteil der Verkehrsleistung am Bodensee übernehmen wird. Das Konzept soll innerhalb von 5-10 Jahren umsetzbar sein.

---

[1] Titel der Aufsätze von DILLI in der Eisenbahntechnischen Rundschau 1+2/1952 [15]

1.2. Überblick

Zu Beginn dieser Arbeit wird die gewählte Regionalverkehrstrecke Basel – Singen – Lindau bezüglich ihrer Lage im Netz und des Streckenverlaufs beschrieben. Darauf folgt in Abschnitt 3 eine Auswertung der Literatur im Hinblick auf mögliche Bewertungskriterien und deren Definitionen für diese Arbeit. Als Grundlage für die Angebotsplanung wird dann der Ist-Zustand analysiert und die Randbedingungen erläutert. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 6 verschiedene Infrastrukturmaßnahmen bearbeitet. Die bis dahin gesammelten Ergebnisse werden dann im Abschnitt 7 verwendet, um unter den gegebenen Randbedingungen verschiedene Angebotskonzepte zu erarbeiten. Diese werden anschließend aus wirtschaftlicher Sicht und anhand der vorher definierten Kriterien bewertet. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und entsprechend weitergehender Untersuchungsbedarf aufgezeigt.

Folgende Hinweise sollten beim Lesen dieser Arbeit berücksichtigt werden:

- Der InterRegioExpress wird in den Bildfahrplänen in Anlehnung an die Farbe des InterRegio in Blau dargestellt, obwohl dies der bei der DB AG üblichen Farbgebung (alle Nahverkehrszüge in Schwarz) widerspricht.
- Die Strecke Basel-Lindau wird als in Basel beginnend angenommen. Angaben wie „ab Stahringen“ und „links der Strecke“ beziehen sich auf diese Richtung und werden verwendet, wenn Angaben wie „im Westen“ nicht sinnvoll sind.
- Es werden auch farbliche Abbildungen verwendet. Insbesondere im Anhang kommt es durch Schwarz-Weiß-Kopien zu Informationsverlusten.
- Alle Abkürzungen und Formelzeichen sind beim ersten Auftreten und im Verzeichnisteil erklärt. Zusätzlich wurde versucht, nur gängige Abkürzungen und weitestgehend selbsterklärende Formelzeichen zu verwenden.
- Alle verwendeten Quellen sind im Quellenverzeichnis aufgeführt. Querverweise auf diese Quellen nach dem Satzzeichen am Ende eines Absatzes bedeuten, dass sich diese auf den gesamten Absatz beziehen. Auch Quellen aus dem Internet werden bewusst im Literaturverzeichnis aufgeführt.
- Bei Informationen aus Gesprächen, Briefen und Emails wird der jeweilige Informationsgeber in der Fußnote genannt.
- Die Anhänge werden in einem gesonderten Ordner abgegeben, so dass diese parallel zum Lesen der Arbeit betrachtet werden können.

2. Regionalverkehrsstrecke Basel – Lindau

2.1. Streckenverlauf

Die zu untersuchende Regionalverkehrsstrecke Basel-Singen-Lindau ist 207,3 Kilometer lang. Sie umfasst die Hochrheinbahn von Basel bis Singen (KBS 730) und die Bodensee-Gürtelbahn von Singen bis Lindau (KBS 731).[2] Die Anlagen 1a+b enthalten geografische Übersichten mit den Schwerpunkten Eisenbahn- und Fernstraßennetz.

Im ersten Teil der Strecke von Basel bis Waldshut verläuft die Strecke zweigleisig entlang der Flusswindungen des Rheins. Nach Waldshut verlässt die dann eingleisige Strecke den Rhein in nördlicher Richtung und verläuft bis Lauchringen in der Nähe des Flusses Wutach. Östlich von Lauchringen kreuzt die Trasse die Wutach und verlässt sie. Nach Erzingen überquert die Strecke die Bundesgrenze zur Schweiz und verläuft anschließend knapp 30 km auf Schweizer Bundesgebiet im Kanton Schaffhausen. Kurz vor dem Knoten Schaffhausen ist die Strecke ab Beringen Badischer Bahnhof wieder zweigleisig ausgebaut und führt dann über Singen und durch den Hegau nach Radolfzell an den Bodensee. In Radolfzell biegt die Strecke Richtung

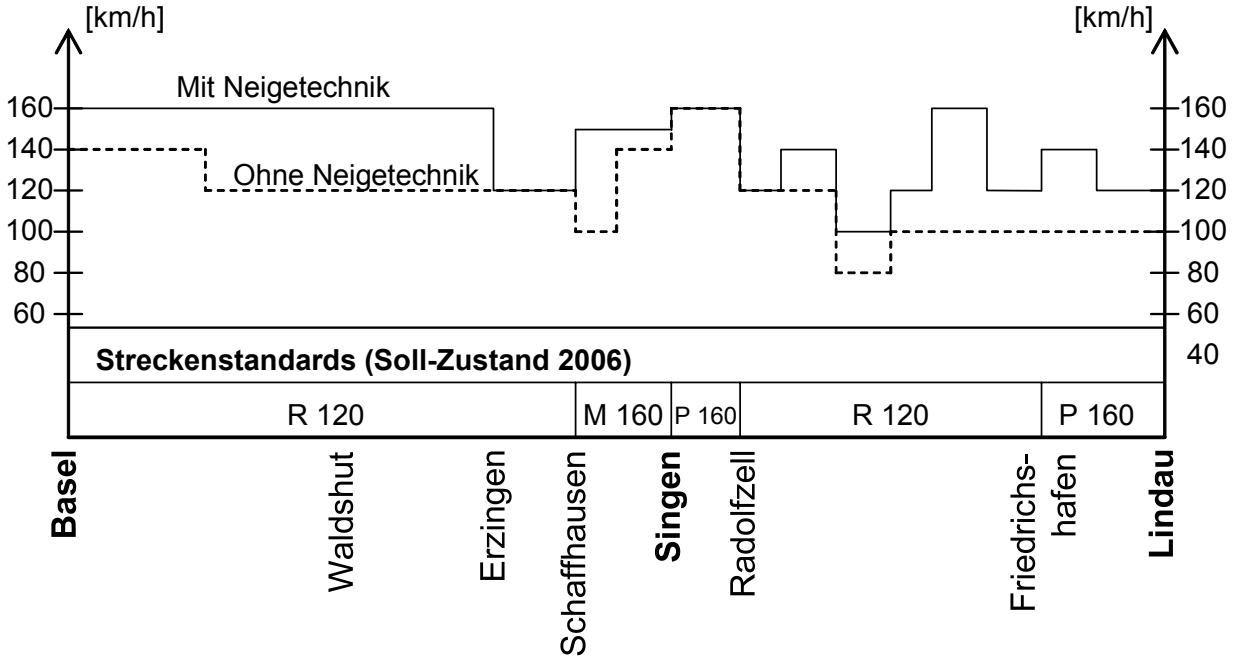

Abbildung 2-1: Vereinfachte Darstellung der Höchstgeschwindigkeiten nach VzG [11] mit und ohne NeiTech; mit den Soll-Streckenstandards 2006; 1cm = ca. 17,5km

[2] Die Streckennummer nach VzG [11] lauten 4000 (Basel-Radolfzell), 4331 (Radolfzell-Friedrichshafen) und 4530 (Friedrichshafen-Lindau).

Norden ab und verläuft sie einige Kilometer als zweigleisige Strecke bis Stahringen. Danach führt die dann wieder eingleisige Strecke bis Ludwigshafen wieder an den Bodensee und bleibt bis Überlingen am Bodensee. Anschließend biegt die Strecke Richtung Norden ins Landesinnere ab und verläuft dort über Salem und Markdorf. Zwischen Friedrichshafen und Lindau liegt die Trasse dann immer in der Nähe des Bodensees.

Abgesehen vom Teilabschnitt Singen – Radolfzell ist das Fahren mit Neigetechnik möglich. Zwischen Schaffhausen und Radolfzell ist die Strecke elektrifiziert.

Die Hochrhein-Bahn (Basel-Singen) und die Bodensee-Gürtelbahn (Singen-Lindau) sind aufgrund der Landschaft und der Sehenswürdigkeiten touristisch attraktive Strecken und sind folgerichtig in das „Rail&Relax“ – Verzeichnis der NVBW aufgenommen worden (vgl. [23], Streckennummern 730 und 731). Somit ist mit einem hohen Anteil Tourismusverkehr zu rechnen. Dies hat auch für den Eisenbahnbetrieb Konsequenzen: Zum einen ist die Gesamtnachfrage in einem größeren Maße als bei anderen Nachfragegruppen abhängig vom Wetter, zum anderen kann es durch Reisegruppen, Veranstaltungen und insbesondere durch hohes Fahrradfahreraufkommen zu außerplanmäßigen Verlängerungen der Verkehrshaltezeiten kommen.

2.2. Einordnung ins Eisenbahnnetz, Bundesverkehrswegeplanung

Die Strecke Basel-Lindau hat sieben Knotenbahnhöfe: Basel, Waldshut, Schaffhausen, Singen, Radolfzell, Friedrichshafen und Lindau. Besonders wichtig sind dabei die IRE-Endbahnhöfe Basel, Singen und Lindau. Die auf der nächsten Seite abgedruckte Abbildung 2-2 verdeutlicht die wichtigsten Umsteigebeziehungen. Die Netzgrafik in Anlage 2 enthält zusätzlich die Knotenzeiten, die Taktzeiten und die genauen Zugläufe.

Nördlich der Strecke gibt es keine vergleichbar schnelle Verbindung in West-Ost-Richtung. Die Strecke Freiburg – Donaueschingen ist mit einer Streckengeschwindigkeit von 70-85 km/h nicht adäquat.

Da aber West-Ost-Verbindungen (z.B. Basel – München, Mulhouse – Bregenz) über die Fernverkehrsstrecken Basel – Karlsruhe – Stuttgart – München im Norden und Basel – Zürich – Lindau im Süden trotz des Umweges zu den meisten Zeiten schnellere Verbindungen anbieten, spielt die Strecke Basel – Singen – Lindau nur eine untergeordnete Rolle für Fernverkehrsreisende.

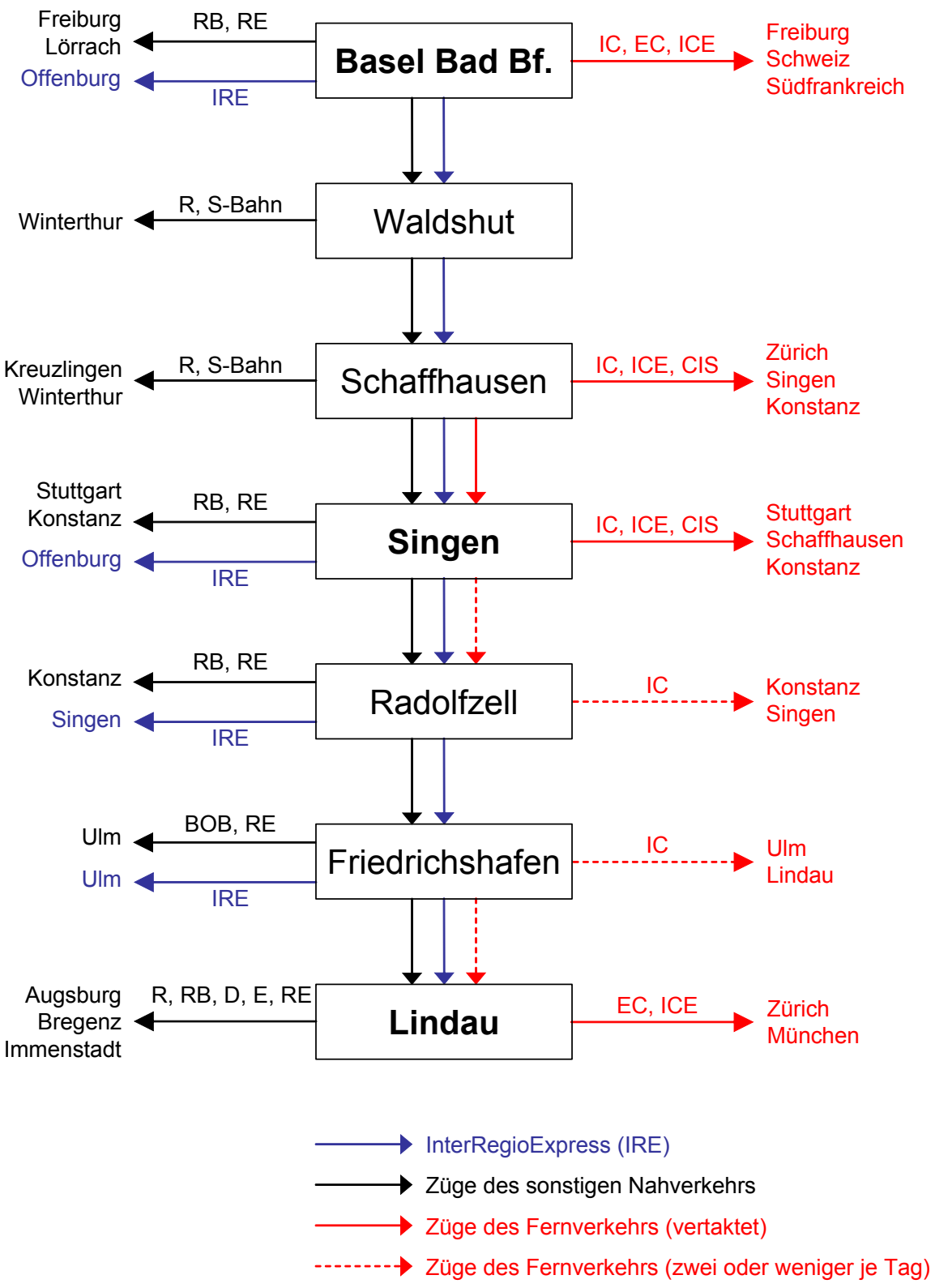

Abbildung 2-2: Lage im Netz

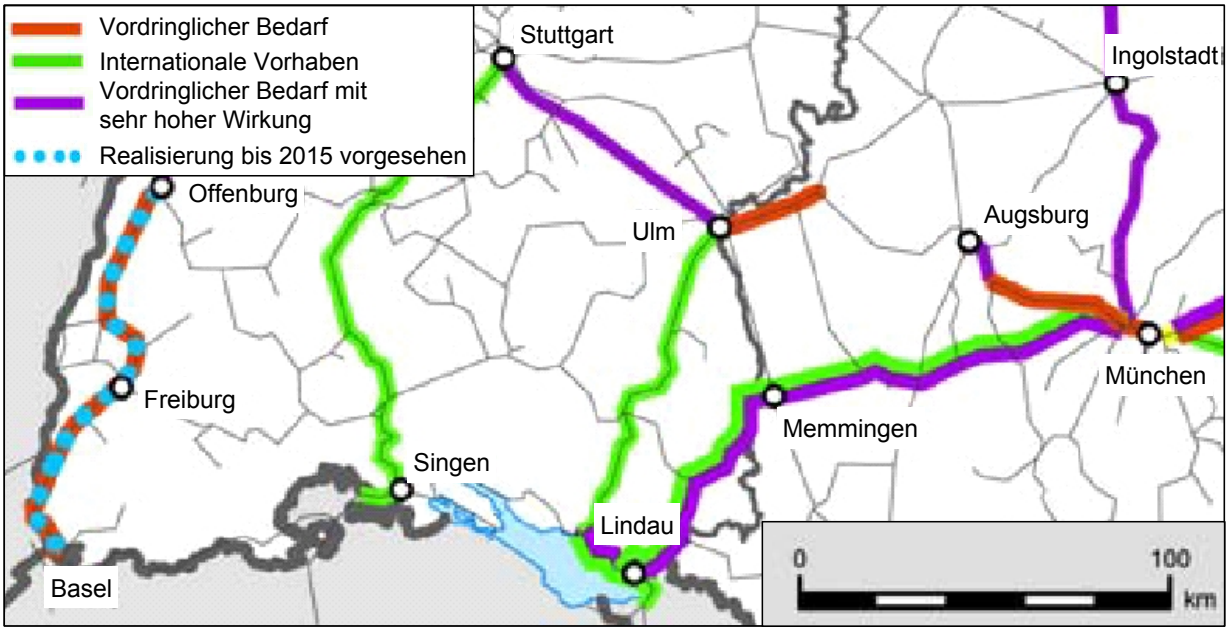

Abbildung 2-3: Ausschnitt aus der Bundesverkehrswegeplanung 2003; Quelle: [5] (angepasst)

Wie Abbildung 2-3 zeigt, sind nur zwei kurze Abschnitte der Strecke Basel-Lindau in den Bundesverkehrswegeplan 2003 [5] aufgenommen worden sind:

- Friedrichshafen – Lindau als Teil der ABS Ulm – Friedrichshafen – Lindau (Projektnummer 23 im vordinglichen Bedarf Schiene): Begegnungsabschnitte

  Dieses Projekt wird im Abschnitt 6.1.2 genauer erläutert.
- Singen – Radolfzell als Teil der ABS Stuttgart – Singen – Österreich (Projektnummer 8 der Internationalen Projekte Schiene): Ausbau zur Hochgeschwindigkeitsstrecke

  Dieses Projekt hat keine relevanten Auswirkungen auf die heutigen Planungen für die Nahverkehrsstrecke Basel-Lindau, da sich die Fahrzeiten für den Nahverkehr nicht ändern werden. Die Änderung der Fahrplanlage des Fernverkehrs Stuttgart – Zürich kann noch nicht vorhergesehen und dementsprechend noch nicht berücksichtigt werden, da bisher nur Vereinbarungen zwischen den beteiligten Staaten getroffen worden sind.

Von großer Bedeutung für diese Arbeit sind zusätzlich die Projekte ABS/NBS Karlsruhe-Basel und ABS München-Lindau, durch die sich die Fernverkehrsknotenzeiten in Basel und Lindau ändern könnten (vgl. Abschnitt 5.1).

3. Grundlagen und Definitionen

In diesem Abschnitt werden verschiedene Begriffe und Sachverhalte erläutert, die für diese Arbeit wichtig sind. Zuerst wird kurz auf Fahrzeitzuschläge und Pufferzeiten eingegangen. Danach wird die Angebotsplanung ausführlich beschrieben. Nach einer Definition der Angebotsplanung wird ein Zielkatalog vorgestellt und anschließend werden verschiedene Kennziffern zur Beschreibung eines Angebotes vorgestellt und für diese Arbeit definiert. Da der Integrale Taktfahrplan, der u.a. in Baden-Württemberg, Bayern und der Schweiz eingeführt ist, für die Angebotserstellung auf der Beispielstrecke eine große Bedeutung hat, wird seine Funktionsweise im Abschnitt 3.3 beschrieben. Den Abschluss dieses Abschnitts bildet eine Übersicht über die eingesetzten Dieseltriebwagen sowie mögliche Fahrzeuge im Falle einer Elektrifizierung.

3.1. Fahrzeitzuschläge und Pufferzeiten

Betriebsabwicklungen bei Eisenbahnverkehrsunternehmen sind niemals dauerhaft störungsfrei. Gründe für Störungen können unter anderem sein: [15]

- Technische Störungen:
  - Fahrzeugstörungen und –ausfälle
  - Oberbauschäden
  - Signalstörungen
- Verlängerung der Verkehrshalteszeiten durch erhöhten Personenandrang
- Falsche Betriebsplanung (Fahrpläne, Bahnhofsordnungen)
- Verzögerungen durch menschliche Unzulänglichkeiten im Betrieb, z.B. bei Rangierbewegungen
- Atmosphärische Einflüsse

Es ist demnach als unumgänglich festzuhalten, dass trotz aller Bemühungen zur Verringerung die Verspätung an sich unabwendbar ist. Somit ist es nahe liegend, bei der Fahrplanerstellung Toleranzen vorzusehen. [15]

Toleranzen werden heutzutage in drei verschiedenen Formen im Fahrplan berücksichtigt:

1. Bauzuschlag

Baustellen können durch Gleissperrungen und Langsamfahrstellen mehr oder weniger planbare Verspätungen verursachen. Deshalb wird, wenn während einer Fahrplanperiode in bestimmten Abschnitten Verspätungen durch Baustellen und Langsam-

fahrstellen entstehen, für alle Züge auf diesen Abschnitten ein Bauzuschlag im Fahrplan vorgesehen. Dieser ist in der Regel für alle Zuggattungen gleich und wird abschnittsweise in absoluten Werten angegeben.

2. Regelzuschlag

Für die nicht planbaren Verspätungen wird im Fahrplan ein Regelzuschlag auf die reine Fahrzeit zugeschlagen. Dieser wird in Prozent angegeben und linear zur Fahrzeit addiert [24]. Der Regelzuschlag kann einerseits verhindern, dass bereits kleine Verzögerungen am nächsten Bahnhof zu Verspätungen führen und kann andererseits den Abbau von Verspätungen im weiteren Verlauf der Strecke ermöglichen.

Zu geringe Regelzuschläge führen bereits bei kleinsten Unregelmäßigkeiten zu Verspätungen und sollten deshalb ebenso wie zu hohe Zuschläge, die die Beförderungszeit unnötig verlängern, vermieden werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass zum Ausgleich von schlechten Witterungsbedingungen, Haltezeitverlängerungen und sonstigen Behinderungen Regelzuschläge zwischen 3 % (Nahverkehr) und 6 % (Fernverkehr) günstig sind [19].[3] Der Regelzuschlag für den IRE sollte zwischen diesen beiden Werten liegen, da der IRE zwar von der Einteilung nach Zuggattungen ein Nahverkehrszug ist, aber von Geschwindigkeit und Linienlänge nicht dem typischen Nahverkehrszug entspricht.

3. Pufferzeit

Die Pufferzeit ist die zulässige Ungenauigkeit eines Zuges, die nicht zu Verspätungsübertragung auf andere Züge führt [15]. Durch die so verringerten Folgeverspätungen kann die Betriebsqualität erhöht werden. Allerdings wird durch hohe Pufferzeiten die Fahrplannennleistung einer Strecke verringert.

Die Bemessung der Pufferzeiten erfolgt in Abhängigkeit der Zugfolgefälle. Wenn der zweite Zug durchfährt oder deutlicher schneller als der erste Zug ist, sollten größere und im gegenteiligen Fall kleinere Pufferzeiten verwendet werden. Nach [24] sollten die Pufferzeiten zwischen 1 und 3 Minuten sein sowie ein zusätzlicher pauschaler Aufschlag von einer Minute zur Berücksichtigung von Sperrzeiten vorgesehen werden. Dass diese Mindestwerte für eine gute Betriebsqualität aber nicht ausreichen, stellen KANNENGIEßER ET AL. in [20] fest. Auch in [19] werden alle Pufferzeiten unter 3 Minuten als kritisch beurteilt und wiederum zusätzlich ein pauschaler Aufschlag von einer Minute dringend empfohlen.

---

[3] PACHL empfiehlt in [24] sogar Regelzuschläge zwischen 3 und 7 %.

3.2. Angebotsplanung

Unter Angebotsplanung wird die Erstellung eines Fahrplanes, also „die vorausschauende Festlegung des Fahrtverlaufes der Züge“ (vgl. [24], S. 171), verstanden.

In diesem Abschnitt wird zuerst die Angebotsplanung erläutert. Anschließend wird ein Zielkatalog entworfen und einige Bewertungskriterien werden näher erläutert.

3.2.1. Aufgaben und Arten des Fahrplans

Die Aufstellung eines Fahrplans im Eisenbahnwesen erfüllt drei Aufgaben [24]:

- Trassenmanagement: Koordinierung der Trassenwünsche der Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)
- Betriebsdurchführung: Der Fahrplan dient als Soll-Zustand.
- Kundeninformation

Es haben sich für die drei Aufgaben eine Reihe unterschiedlicher Fahrplanarten durchgesetzt. Die wichtigsten werden im Folgenden kurz dargestellt:

Für das *Trassenmanagement* wird aufgrund seiner Komplexität der Bildfahrplan benutzt. Dies ist ein Netz aus Orts- und Zeitlinien, in die die Fahrplantrassen als Linien eingetragen werden. Innerhalb von Bahnhöfen wird in der Regel der Fahrplan für Zugmeldestellen (alte Bezeichnung: Bahnhofsfahrordnung) verwendet, die die Belegung der Gleise bildlich darstellt. [24]

Zur *Betriebsdurchführung* wird zusätzlich der Buchfahrplan für den Lokführer verwendet.

Bei der *Kundeninformation* gibt es eine Vielzahl von Fahrplanarten. Der Tabellenfahrplan enthält alle Züge mit ihren An- und Abfahrtszeiten an allen Bahnhöfen dieser Strecke. Ein Kursbuch fasst mehrere Tabellenfahrpläne einer Region zusammen. Außerdem gibt es noch Aushangfahrpläne in den Bahnhöfen, sowie weitere individuelle Fahrplanarten, wie z.B. den „Persönlichen Fahrplan“ im Internet (vgl. u.a. [6]).

3.2.2. Zielkatalog

Bei der Deutschen Bahn gelten im Allgemeinen gelten Sicherheit, Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit in dieser Reihenfolge als die höchsten Ziele. Die Sicherheit soll dabei durch Einhaltung aller Gesetze und Konzernrichtlinien erreicht werden.

Im Folgenden werden die Ziele, die mit der Fahrplankonstruktion und damit der Angebotsplanung für eine Regionalverkehrsstrecke erreicht werden sollen, in fünf

Kategorien eingeteilt. Teilweise werden Ziele in verschiedenen Kategorien genannt, da eine eindeutige Einteilung nicht immer möglich ist.[4]

1. Wirtschaftlichkeit:

Zum Erreichen eines wirtschaftlichen Angebotskonzepts muss ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Kosten (Infrastruktur-, Fahrzeug-, Personal- und Betriebskosten) und Erlösen erreicht werden. Die Kosten können u.a. durch Optimierung der Umläufe (Verringerung der Standzeiten und eventuell Fahrzeugeinsparungen) und kürzere Fahrzeiten (niedrigere Personalkosten) gesenkt werden. Die Erlöse können bei einer Steigerung der Attraktivität für den Kunden durch Fahrgastzuwächse erhöht werden (vgl. Punkt 5).

2. Pünktlichkeit

Zum einen sollten Regel- und Bauzuschläge vorgesehen werden, so dass geringe Verspätungen im Laufe des weiteren Zuglaufes wieder abgebaut werden können. Zum anderen können ausreichende Pufferzeiten bei Kreuzungen, Überholungen und Folgefahrten sowie längere Wendezeiten bewirken, dass die Verspätungsübertragung verringert werden kann.

3. Berücksichtigung des übergeordneten Netzes

Es müssen die Knotenzeiten der Bahnhöfe mit Fernverkehr berücksichtigt werden. Außerdem ist es wichtig, dass, sofern Fernverkehr abschnittsweise auf der Regionalverkehrsstrecke fahren, dieser mit angemessenen Pufferzeiten in den Fahrplan eingelegt wird, um seiner hohen Stellung gerecht zu werden.

4. Umweltfreundlichkeit

Bei infrastrukturellen Maßnahmen müssen die Belange des Umweltschutzes berücksichtigt werden.[5] Aber auch beim Betrieb muss auf den Umweltschutz geachtet werden, wobei verschiedene Kennwerte (Schadstoffemissionen, Primärenergieverbrauch usw.) zu vergleichen sind. Zu geringe Auslastungen führen auch bei Fahrzeugen des ÖV zu relativ hohen Werten einiger Kennziffern, weshalb auf ein ausgewogenes Mittel zwischen angebots- und nachfrageorientierter Planung herzustellen ist. Auch bei den ÖV-Fahrzeugen untereinander sind aus ökologischer Sicht entgegen der weit verbreiteten Meinung nicht immer die Schienenfahrzeuge zu

---

4 Beispiel: Kurze Fahrzeiten sind sowohl für den Reisenden als auch für die Wirtschaftlichkeit positiv, da so das Angebot attraktiver wird, Fahrgastzuwächse erwartet, und Personalkosten gesenkt werden können.

5 Dies wird durch die Planfeststellung (vgl. u.a. Allgemeines Eisenbahngesetz [1] §18) sichergestellt.

bevorzugen (vgl. dazu Untersuchungen u.a. in [28]), so dass auch Schienenersatzverkehr mit Bussen bei sehr geringer Belastung in Erwägung zu ziehen ist.

5. Optimierung des Kundennutzens

Voraussetzung für diese Optimierung sind die bereits genannten kurzen Fahrzeiten und die Pünktlichkeit. Zudem ist eine Verringerung der Reisezeiten durch kürzere Wartenzeiten beim Umsteigen (vgl. Abschnitt 3.3) anzustreben. Eine kürzere Taktzeit sowie moderne, komfortable Fahrzeuge werden ebenfalls positiv bewertet.

Kategorie	Ziele
Wirtschaftlichkeit	• Ausgabensenkung • Einnahmensteigerung
Pünktlichkeit	• Verringerung der Urverspätungen • Verringerung der Verspätungsübertragung
Übergeordnetes Netz	• Berücksichtigung der Fernverkehrsknotenzeiten • Berücksichtigung der Fernverkehrstrassen
Umweltfreundlichkeit	• Minimierung negativer Wirkungen beim Infrastrukturbau • Senkung von Emissionen und Energieverbrauch
Optimierung des Kundenutzens	• Pünktlichkeit • Schnelligkeit • Kurze Zugangszeiten durch Haltepunktoptimierung • Regelmäßigkeit und Häufigkeit • Komfort

Tabelle 3-1: Zielkatalog bei der Angebotsplanung

Es zeigt sich, dass sich die Ziele aus dem Zielkatalog teilweise widersprechen. So kann z.B. ein Infrastrukturausbau Fahrzeitverkürzungen bewirken, führt aber auch zu hohen Ausgaben und häufig negativen Umwelteinwirkungen.

Dies macht deutlich, dass es bei der Angebotsplanung keine optimale Lösung geben kann. Gute Lösungen können nur gute Kompromisse sein, die zwischen allen Zielen ausreichend abwägen.

3.2.3. Bewertungskriterien

In diesem Abschnitt wird die Berechnung einiger Kennziffern, die zum Vergleich, bzw. zur Bewertung von Angebotskonzepten verwendet werden können, beschrieben und für die weitere Verwendung in dieser Arbeit definiert.

Dabei ist festzustellen, dass zwischen einigen Kennziffern Abhängigkeiten bestehen. Diese Abhängigkeiten werden in den jeweiligen Abschnitten erläutert. Die Verbesserung bei einer Kennziffer kann somit zur Verschlechterung einer anderen führen. Deshalb kann als Beurteilungskriterium niemals eine einzelne, sondern immer nur die Gesamtheit aller Kennziffern dienen.

3.2.3.1. Leistungsfähigkeit und Fahrplanstabilität

Leistungsfähigkeit ist der „maximal mögliche Durchsatz einer Betriebsanlage bei einer bestimmten Struktur des Betriebsprogramms“ (vgl. [24], S. 247). Der Durchsatz wird dabei in der Einheit Züge pro Zeiteinheit gemessen. Bei Erreichen der maximalen Leistungsfähigkeit geht die mittlere Wartezeit je Zug ins Unendliche.

Die Untersuchung der Leistungsfähigkeit einer Strecke zur Bestimmung der Betriebsqualität kann entweder mit Simulationsmodellen oder analytisch durchgeführt werden. Heutzutage wird die Simulation rechnergestützt (z.B. mit RailSys) durchgeführt. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes für die Dateneingabe ist die Simulation für diese Arbeit nicht geeignet. Bei den analytischen Vorgehensweisen gibt es einfache Verfahren, bei denen mit einer Kenngröße die Betriebsqualität beurteilt wird. Aufwändigere Verfahren beruhen auf Ansätzen von POTTHOFF [25] und SCHWANHÄUSER [29]. Diese können ebenfalls für längere Strecken nur rechnergestützt (z.B. Software STRELE) angewendet werden.

Die Bestimmung der Belastung mit dem verketteten Belegungsgrad ist als „einfache Abschätzung für vielen Untersuchungen ausreichend“ (vgl. [24], S. 148). Diesgilt ebenfalls für diese Arbeit, in welcher zusätzlich auch die Fahrplanstabilität empirisch untersucht werden soll.

Nach PACHL ist der Belegungsgrad „der Grad der zeitlichen Auslastung eines Fahrwegabschnittes durch Sperrzeiten“. Der *verkette Belegungsgrad* ist „der Belegungsgrad einer Teilstrecke unter Berücksichtigung der Verkettung der Zugfolge, d.h. der aus der Geschwindigkeitsschere resultierenden nicht nutzbaren Zeitlücken“ (vgl. [24], S. 147). Für die weitere Betrachtung in dieser Arbeit wird der verkettete Belegungsgrad verwendet, da dieser insbesondere bei Strecken mit Zügen unter-

schiedlicher Geschwindigkeit für die Ermittlung von eventuell überlasteten Streckenabschnitten wesentlich aussagekräftiger als der einfache Belegungsgrad ist.

Der verkettete Belegungsgrad $\eta_{verkettet}$ kann grafisch durch möglichst enges Zusammenschieben der Fahrplantrassen in einem Untersuchungszeitraum t_{UZ} ermittelt werden. Die minimal benötigte Zeit zur Durchführung der im Untersuchungszeitraum stattfindenden Zugfahrten wird verkettete Streckensperrzeit t_{SS} und der dabei entstehende freie Zeitraum verketteter Streckenpuffer t_{SP} genannt. Der verkettete Belegungsgrad kann dann mit Gleichung (3-1) berechnet werden.[6]

$$\eta_{verkettet} = \frac{t_{SS}}{t_{UZ}} \tag{3-1}$$

Außerdem ist eine Berechnung über die Mindestzugfolgezeit mit den Gleichungen (3-2) und (3-3) möglich.

$$t_{Zf,min} = \sum_{ij} t_{ZF,min,ij} \bullet h_{ij} \tag{3-2}$$

$$\eta_{verkettet} = \frac{z \bullet t_{Zf,min}}{t_{UZ}} \tag{3-3}$$

mit
t_{SP} ..... Verketteter Streckenpuffer
t_{SS} ..... Verkettete Streckensperrzeit
$t_{Zf,min}$ ..... mittlere Mindestzugfolgezeit
$t_{Zf,min,ij}$ ..... Mindestzugfolgezeit des Zugfolgefalles Zug i vor Zug j
h_{ij} ..... relative Häufigkeit des Zugfolgefalles Zug i vor Zug j
z..... Anzahl Züge im Betrachtungszeitraum
t_{UZ} ..... Betrachteter Zeitraum

PACHL gibt als oberen Grenzwert für den verketteten Belegungsgrad über 24 Stunden den Wert 0,5 an. In der Spitzenstunde sollte er nicht über 0,8 liegen. [24]

Mit dem Ziel einer effizienten Infrastrukturausnutzung sollte der Belegungsgrad generell, aber insbesondere bei Ausbau- und Neubaumaßnahmen, nicht wesentlich unter den genannten Werten liegen. Dabei sind aber die Besonderheiten der Eisenbahninfrastruktur zu beachten, die nicht jede gewünschte Steigerung der Leistungsfähigkeit exakt ermöglichen.

6 Anlage 5 verdeutlicht die Ermittlung der genannten Werte grafisch.

Die *Fahrplanstabilität* kann durch die Fähigkeit beschrieben werden, kleine Verspätungen einiger Züge aufzunehmen, ohne dass es dabei zu Verspätungsübertragungen kommt. Während der verkettete Belegungsgrad nur die Anzahl und Reihenfolge der Züge abschnittsweise berücksichtigt, ist die Fahrplanstabilität auch abhängig von der genauen Lage der Fahrplantrassen und von Wirkungen, die sich durch Abhängigkeiten der einzelnen Abschnitte untereinander ergeben.

Die Konzernrichtlinie 405 [8] schreibt vor, dass nach Möglichkeit realistische Verspätungsdaten verwendet werden. Dies ist aber aufgrund der inakzeptablen momentanen Verspätungssituation (vgl. Abschnitt 4.3) nicht sinnvoll, da die Hauptursache für das hohe Verspätungsniveau die aktuelle Angebotskonzeption ist. Dieses Niveau zu senken, ist ein wichtiges Ziel dieser Arbeit, so dass für die neuen Konzepte geringere Verspätungen angesetzt werden sollten. Für den Fall, dass aktuelle Verspätungsdaten nicht genutzt werden können, sind im Anhang 3 zu [8] Näherungswerte für Verspätungen und deren Wahrscheinlichkeiten gegeben. Die Arbeit mit diesen Werten ist allerdings nur mit rechnergestützten Simulationen handhabbar.

Deshalb wird für diese Arbeit ein einfache achtminütige Urverspätung eines IRE Basel – Lindau in Rheinfelden[7] angenommen. Die Disposition erfolgt dabei aufgrund der Wertigkeit der Züge. Dies ermöglicht eine einfache und nachvollziehbare Analyse der Verspätungssituation. Zur besseren Vergleichbarkeit werden dabei besondere Züge wie Schülerverkehre und Verstärkerzüge nicht berücksichtigt, sondern nur die regelmäßig verkehrenden Züge betrachtet. Pufferzeiten bei Kreuzungen und Folgefahrten sowie Fahrzeitzuschläge können zum Verspätungsabbau genutzt werden. Die Ergebnisse dieser Analyse der Fahrplanstabilität sind:

- Anzahl der verspäteten Züge
- Höhe der Verspätungen (bewertet wird dabei Ankunftsverspätung am letzten Bahnhof der Strecke Basel – Lindau)

Diese Ergebnisse können für jede Angebotskonzeption ermittelt und verglichen werden.

[7] Die Auswertung des Ist-Zustandes ergibt, dass mehr als 10 % der Züge eine solche Verspätung im nahe liegenden Waldshut haben.

3.2.3.2. Reisezeit

Die ÖV-Reisezeit setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

Zugangszeit			Umsteigezeit			Abgangszeit
Anmarsch	Warten	Beförderung im Fahrzeug	Weg	Warten	Beförderung im Fahrzeug	Abmarsch
$t_{Fußweg,an}$	t_{Warten}	$t_{Fahrzeug}$	$t_{Fußweg,um,i}$	$t_{Warten,um,i}$	$t_{Fahrzeug,i}$	$t_{Fußweg,ab}$

Je nach Anzahl der Umsteigevorgänge i kommen diese Komponenten nicht, einmal oder mehrmals vor.

Abbildung 3-1: Zusammensetzung der ÖV-Reisezeit; in Anlehnung an [34], S. 27

In dieser Arbeit kann nur der Teil der Reisezeit berücksichtigt werden, der vom Betreten eines Bahnhofes bis zum Verlassen eines anderen Bahnhofes vergeht, An- und Abmarschzeiten werden also vernachlässigt.[8] Diese Vereinfachung gegenüber der Standardisierten Bewertung [34] ist für die Aufgabenstellung dieser Arbeit vertretbar, da der Planungsraum nur aus einer lang gezogenen Strecke besteht und damit die Zu- und Abgangszeiten unabhängig vom Angebot sind.[9] Damit ergibt sich folgende Zusammensetzung der Reisezeit:

Zugangszeit		Umsteigezeit		Abgangszeit
Wartezeit an einem Bahnhof	Beförderung im Fahrzeug		Beförderung im Fahrzeug	ggf. Wartezeit auf Fernverkehr
$t_{Warten,an}$	$t_{Fahrzeug}$	$t_{Umsteigen,i}$	$t_{Fahrzeug,i}$	$t_{Warten,ab}$

Je nach Anzahl der Umsteigevorgänge i kommen diese Komponenten nicht, einmal oder mehrmals vor.

Abbildung 3-2: Vereinfachte Berechnung der ÖV-Reisezeit

Die Gesamtreisezeit T berechnet sich somit nach Formel (3-4):

---

8 Die Berechnung der An- und Abmarschzeiten setzt die Aufstellung eines detaillierten Verkehrsmodells voraus.

9 Dies stimmt nicht bei Änderungen der Anzahl und Lage von Haltepunkten (vgl. Abschnitt 6.2).

$$T = t_{Warten,an} + t_{Fahrzeug} + \sum_i \left(t_{Umsteigen,i} + t_{Fahrzeug,i}\right) + t_{Warten,ab} \tag{3-4}$$

Die einzelnen Reisezeitkomponenten berechnen sich dabei wie folgt:

- $t_{Warten,an}$: Nach [34] soll hier die halbe mittlere Fahrtenfolgezeit mit einer Obergrenze von 5 Minuten angesetzt werden. Diese Obergrenze soll berücksichtigen, dass bei Fahrtenfolgenzeiten von über 10 Minuten der Reisende durch Beachtung des Fahrplans längere Wartezeiten verhindert.[10]
- $t_{Fahrzeug}$: Die ÖV-Beförderungszeit umfasst die reine Fahrzeit, die Verkehrshaltezeiten sowie Regelzuschläge. Sie kann dem Fahrplan, bzw. der Fahrzeitenberechnung entnommen werden.
- $t_{Umsteigen,i}$: Die Umsteigezeit ist die Zeit zwischen Ankunft des ersten und Abfahrt des zweiten Zuges. Zur Berücksichtigung der Mindestübergangszeit muss die Umsteigezeit größer als die Mindestübergangszeit sein. Da für diese Arbeit die Übergänge optimal abgestimmt werden sollen, werden hier die tatsächlichen Umsteigezeiten angesetzt.
- $t_{Warten,ab}$: Sofern die Reise in einem anderen Verkehrsmittel fortgesetzt wird, fällt erneut eine Wartezeit an. In dieser Arbeit werden jedoch ausschließlich die Übergänge auf den Fernverkehr an den Fernverkehrsknoten berücksichtigt. Alle anderen Übergänge, beispielsweise zu Bussen und Straßenbahnen, erfordern die Aufstellung eines detaillierten Verkehrsmodells mit sehr guter Datengrundlage. Dies ist aber kein Teil dieser Arbeit.

Die ÖV-Reisezeit T bewertet den im Zielkatalog genannten Punkt Schnelligkeit. Zur Bewertung eines Angebotskonzeptes sollte die Summe aller Reisezeiten verglichen werden.

Da für die Strecke Basel – Lindau keine detaillierten Quell-Ziel-Matrizen vorliegen, die eine Bewertung über die gewichtete Reisezeit ermöglichen würden, werden für diese Arbeit die folgenden zwei Kennwerte zum Vergleich der Angebotskonzepte verwendet:

- Die auf der Strecke Basel-Lindau ermittelten Beförderungszeiten werden mit Fahrgästen gewichtet.
- Die Reisezeiten auf ausgewählten Routen sind ein Maß für die Qualität der Netzgestaltung. Je besser die Linien verknüpft sind, desto geringer sind die Umsteigezeiten und damit die Reisezeiten. Da nicht alle Routen ermittelt wer-

[10] Große Fahrtenfolgezeiten gehen dafür bei der Häufigkeit (vgl. Abschnitt 3.2.3.3) negativ in die Bewertung ein. Zur Definition der Fahrtenfolgezeit siehe ebenfalls dort.

den können und für eine anschließend nötige Gewichtung keine Daten vorliegen, erfolgt die Bewertung qualitativ, indem die Knoten untersucht werden.

Diese beiden Kriterien können bei der Angebotserstellung das Ziel der Schnelligkeit beschreiben. Dabei wird gegenüber Abbildung 3-2 die Startwartezeit vernachlässigt. Da die mittlere Fahrtenfolgezeit aber ohnehin immer größer als 10 Minuten ist und damit immer die Obergrenze von 5 Minuten angesetzt wird, würde eine Berücksichtigung die Bewertung nicht verändern.

3.2.3.3. Häufigkeit und Regelmäßigkeit des Angebotes

Jeder Kunde eines EVU, sowohl im Reise- als auch Güterverkehr, wünscht sich ein möglichst häufiges und regelmäßiges Angebot.

Die *Häufigkeit* kann durch die mittlere Fahrtenfolgezeit $t_{FF,m}$ beschrieben werden. Diese berechnet sich nach der Standardisierten Bewertung [34] über eine gemittelte Bedienungshäufigkeit B_M:

$$B_M = 0{,}5 \bullet B_{Spitzenstunde} + 0{,}5 \bullet \frac{B_{Gesamttag} - 6 \bullet B_{Spitzenstunde}}{14} \tag{3-5}$$

$$t_{FF,m} = \frac{60}{B_M} \tag{3-6}$$

Diese Gleichungen sind allerdings eher für den städtischen Nahverkehr geeignet, in dem verschiedene Takte zu einer mittleren Fahrtenfolgezeit zusammengefasst werden müssen. Zur Beschreibung der Häufigkeit im betrachteten Regionalverkehr reicht die Angabe des Taktes auf den verschiedenen Linien aus, da es in der Regel nur einen einheitlichen Takt gibt.

Aus Sicht des Kunden ist eine möglichst kurze Fahrtenfolgezeit anzustreben. Dabei müssen aber die Leistungsfähigkeit der Strecke und die Wirtschaftlichkeit des Angebotes zu berücksichtigt werdeb.

Neben der Häufigkeit ist auch die *Regelmäßigkeit* des Angebotes ein Qualitätsmerkmal für den Kunden. Den Grad der Vertaktung kann durch den Quotienten von der Anzahl der vertakteten Züge zu der Gesamtanzahl der Züge berechnet werden.

$$n_{Vertaktung} = \frac{n_{vertaktete\ Züge}}{n_{Gesamt}} \tag{3-7}$$

Die Vertaktung gehört bereits seit längerem zum Standard im Personenverkehr. Auch auf der Regionalverkehrsstrecke Basel – Lindau ist dies bei allen Zügen der Fall. Da alle Angebotskonzepte vertaktete Angebote anbieten werden und es somit keine Unterschiede zwischen dem Ist-Zustand und den Angebotsvarianten geben wird, kann für diese Arbeit die Kennziffer der Vertaktung vernachlässigt werden.

3.2.3.4. Kreuzungsaufenthalte, Bündelung

Im Abschnitt 3.2.3.1 wurde der verkettete Belegungsgrad definiert. Dieser bestimmt den Grad der Belastung auf einzelnen Streckenabschnitten. Bei eingleisigen Strecken mit planmäßigen Kreuzungen muss diese zur Bestimmung des Belegungsgrades in Teilabschnitte ohne Kreuzungsmöglichkeiten zerlegt werden. Dies berücksichtigt dann aber nicht die Anzahl und Dauer der Kreuzungsaufenthalte. Besonders diese sind aber aufgrund des Zeit- und Energieverbrauchs als sehr negativ einzustufen und müssen deshalb in die Bewertung einfließen. Als Kennziffer für die Bewertung bietet sich dabei die Anzahl der *Kreuzungsaufenthalte* an. SCHWANHÄUSER definiert dazu in [30] einen Bewertungsmaßstab für die Anzahl der reinen Kreuzungsaufenthalte. Dieser Ansatz ist allerdings für diese Arbeit nicht geeignet, da alle planmäßigen Kreuzungsaufenthalte im Personenverkehr auf der untersuchten Strecke mit Fahrgastwechsel verbunden werden und somit keine reinen Kreuzungsaufenthalte nach SCHWANHÄUSER sind.

Auf eine eigene Definition für diese Arbeit kann jedoch ohnehin verzichtet werden, weil die Kreuzungsaufenthalte in die Ergebnisse anderer Untersuchungen einfließen. Die Dauer wird durch die Auswertung der Beförderungszeit erfasst und die Anzahl beeinflusst das Ergebnis der empirischen Untersuchung der Fahrplanstabilität, da Kreuzungen bei Verspätungen häufig zu Folgeverspätungen führen.

Ebenfalls durch andere Kennziffern erfasst ist die *Bündelung* von Zügen gleicher Geschwindigkeit und Richtung. Diese beeinflusst die Fahrplannennleistung in einem erheblichen Maße [26]. Die Abbildung 3-3 verdeutlicht dies exemplarisch[11].

[11] Die Topologie und die Zugfolge sind nicht realistisch, sondern für die Veranschaulichung der Bündelung, gewählt. Deshalb sind die Leistungsunterschiede in der Realität in den meisten Fällen deutlich geringer.

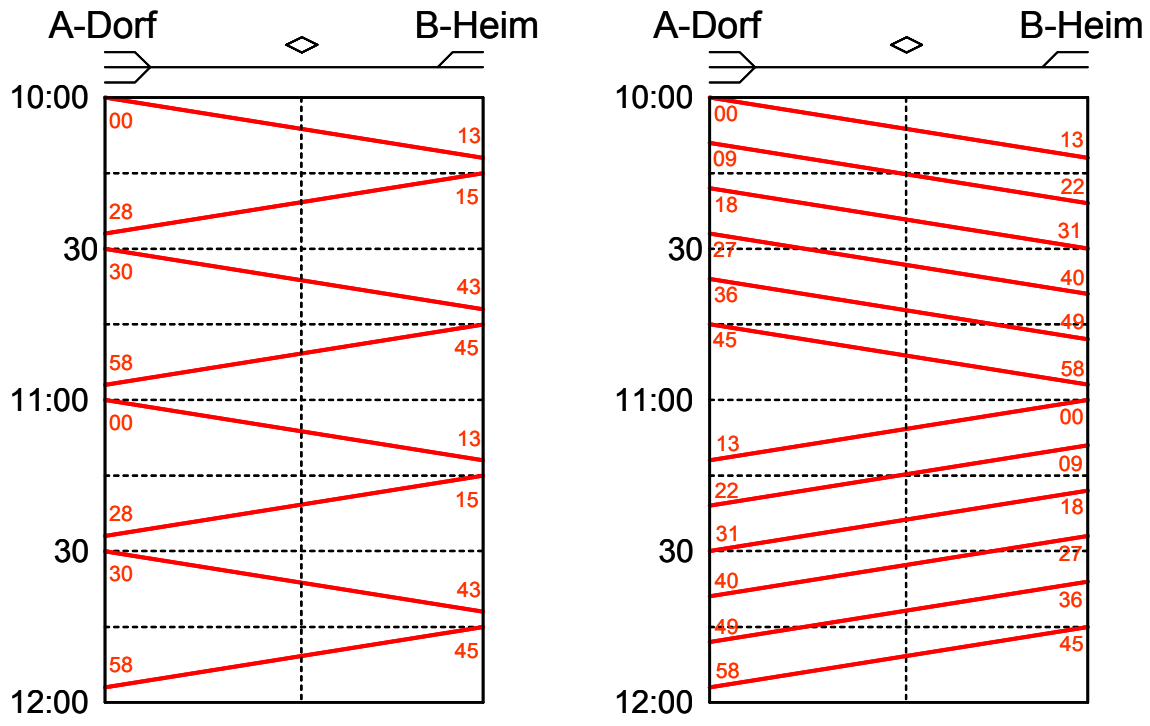

Abbildung 3-3: Vergleich des Durchsatzes ohne und mit Bündelung

In Abbildung 3-3 wurden vereinfachend nur Züge gleicher Geschwindigkeit dargestellt. Dabei ergibt sich bei idealer Bündelung eine Steigerung der Streckenleistungsfähigkeit von 50 % (6 statt 4 Züge je Richtung). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass bei eingleisigen Strecken die Bündelung von Zügen gleicher Richtung wichtig ist, da dort bei fehlender Bündelung sehr große durchschnittliche Mindestzugfolgezeiten entstehen.

Allerdings ist dabei zu beachten, dass eine optimale Bündelung zu einem unattraktiven Angebot für den Kunden führen kann. POTTHOFF weist darauf hin, dass „die Forderung nach einer besten Struktur eines Systems leicht unsinnig werden kann, da sie einen Selbstzweck verkörpert und die Ziele der Verkehrsbedienung vernachlässigt“ (vgl. [26], S. 24). Das bedeutet, dass beim Bestreben nach der idealen Bündelung von Zügen gleicher Richtung und Geschwindigkeit und damit geringen Mindestzugfolgezeiten berücksichtigt werden muss, dass für den Kunden (Reisender, Warenversender) ein attraktives Angebot mit regelmäßigem und gleich verteiltem Angebot (vgl. Abschnitt 3.2.3.3) besteht. Um diesen Fehler zu vermeiden und da die Bündelung indirekt durch andere Kennziffern erfasst wird, wird diese nicht als eigene Kennziffer ist diese Arbeit aufgenommen.

3.2.3.5. Kostenübersicht

Zur Beschreibung der Wirtschaftlichkeit von Angebotskonzepten könnten jeweils für das Eisenbahnverkehrsunternehmen und den Infrastrukturbetreiber eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sowie eine volkswirtschaftliche Betrachtung durchgeführt werden. Dabei müssten Fahrzeugkosten, Personalkosten, Trassen- und Stationspreise, Zuschüsse, Fahrgasteinnahmen usw. berücksichtigen werden. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit nur mit vielen schwierig begründbaren Annahmen möglich. Deshalb sollen nur zwei Kennziffern definiert werden, die einen Vergleich der Konzepte ermöglichen.

Beim *Fahrbetrieb* wird unter Berücksichtigung einer Fahrzeugreserve von 15 % die Anzahl der benötigten Fahrzeuge ermittelt. Diese können mit Hilfe der Nutzungsdauer und des Kalkulationszinssatzes mit Gleichung (3-8) in eine jährliche Abschreibung umgerechnet werden.

$$A = I \bullet \frac{q^n \bullet (q-1)}{q^n - 1} \qquad (3\text{-}8)$$

mit A .....Jährliche Abschreibung
q .....Zinssatz
n .....Nutzungsdauer

Auf Seiten der *Infrastruktur* wird die Summe aller Maßnahmen angegeben.

3.3. Integraler Taktfahrplan

3.3.1. Einführung

Aus Sicht eines umsteigenden Kunden sollte an jedem Umsteigebahnhof der folgende Zug am selben Bahnsteig warten und dann nach Ablauf der Mindestübergangszeit von einigen Minuten losfahren. Außerdem ist es natürlich im Interesse aller Kunden, dass genau ihr Anschluss auch bei Verspätung aufrechterhalten wird und auf andere Züge nicht gewartet werden muss. Dies wünscht sich jeder Kunde, so dass diese Zielvorstellung zur Maximierung des Kundennutzens aufgrund der Vielzahl der Quelle-Ziel-Verbindungen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht umsetzbar ist.

Um den Kundenwünschen - so weit wie unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich - gerecht zu werden, wurde die seit langen existierende Vertaktung des Zugangebots zum Integralen Taktfahrplan (ITF) erweitert. Bei dieser netzweiten Maßnahme sind die Angebote der einzelnen Linien so verknüpft, dass an

ausgewählten „ITF-Knoten“ zwischen allen Linien umgestiegen werden kann [24]. Abbildung 3-4 veranschaulicht die Funktionsweise des ITF.

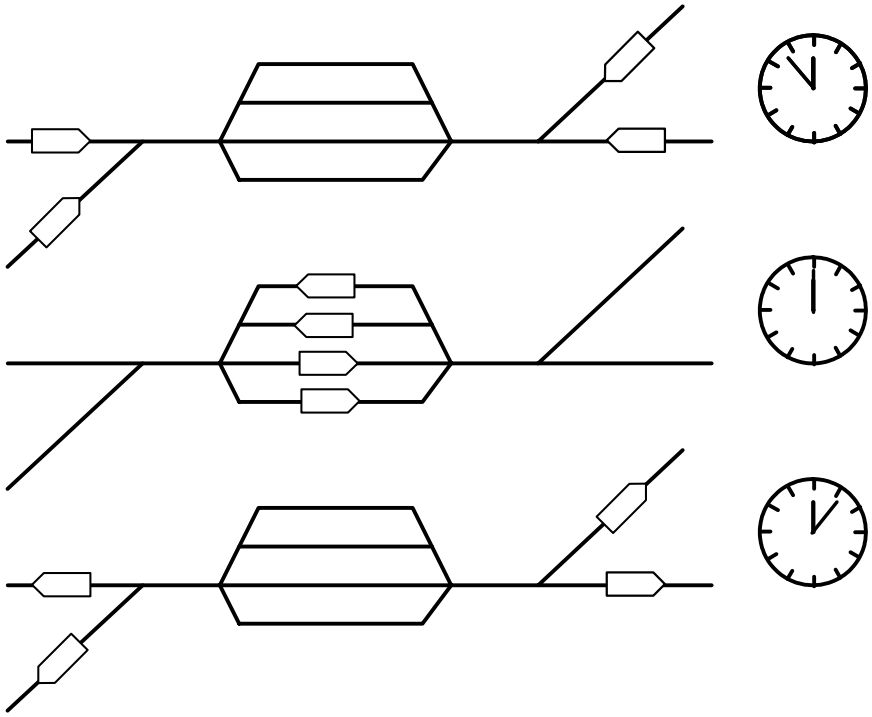

Abbildung 3-4: Funktionsweise ITF, eigene Darstellung in Anlehnung an [24], S. 199

Fahrzeuge aus allen Richtungen halten an den ITF-Knoten zur selben Zeit („Symmetriezeit“ oder „Systemzeit“), so dass Umsteigebeziehungen zwischen allen Zügen möglich sind.

3.3.2. Betriebliche und infrastrukturellen Voraussetzungen

Voraussetzung für die Umsetzung der ITF ist die Einhaltung der folgenden drei mathematischen Bedingungen:

1. Kantengleichung

Die Verknüpfung von Richtung und Gegenrichtung kann nur funktionieren, sofern die Kantenzeiten der halben oder einem Vielfachen der halben Taktzeit entspricht: [17]

$$t_K = \frac{1}{2} \bullet n \bullet t_T \qquad (3\text{-}9)$$

mit t_K.....Kantenzeit
t_T.....Taktzeit des ITF
n .....ganze Zahl (n=1, 2, 3, …)

2. Kreisgleichung

Damit der ITF seiner Eigenschaft als netzweite Maßnahme gerecht werden kann, muss zur Verknüpfung von mehreren Linien die Kreisgleichung (3-10) für alle beliebigen Kreise im Netz erfüllt sein:

$$\sum t_K = n \bullet t_T \tag{3-10}$$

mit t_K.....Kantenzeit
t_T.....Taktzeit des ITF
n .....ganze Zahl (n=1, 2, 3, …)

3. Einheitliche Takt- und Symmetriezeiten

Alle Züge, die in den ITF eingebunden werden sollen, müssen im selben Takt verkehren und sich zu einer einheitlichen Zeit („Symmetriezeit“) treffen.

Zudem müssen die ITF-Knoten im Zu- und Ablauf hohe Kapazitäten und im Bahnhof selber ausreichend Halteplätze haben, um die hohen Belastungen zu den Symmetriezeiten zu bewältigen.

Da das deutsche Eisenbahnnetz über Jahrzehnte gewachsen ist, gibt es keine Teilnetze, die alle Voraussetzungen erfüllen. Daher sind in der Regel bei der Einführung des ITF verschiedene betriebliche und infrastrukturellen Maßnahmen notwendig: [17]

- Reduktion der Fahrzeiten durch schnellere Fahrzeuge, Ausbau der Infrastruktur, ÖPNV-Beschleunigungsmaßnahmen o.ä.
- Reduktion der Verkehrshaltezeiten durch Herausnehmen von Haltepunkten oder Verbesserung der Einstiegs- und Ausstiegsverhältnisse
- Erhöhung der Beförderungszeiten durch Verlangsamung der Fahrzeuge oder Verlängerung der Verkehrshaltezeiten
- Erhöhung der Kapazität des ITF-Knotens durch Erweiterung der Fahrweginfrastruktur, Mehrfachnutzung von Bahn-, bzw. Bussteigen oder Reduzierung der Fahrstraßenausschlusszeiten durch sicherungstechnische Maßnahmen.

3.3.3. Bewertung

Im Idealfall eines gut funktionierenden ITF bietet dieser ein attraktives Angebot für den Kunden. Es gibt regelmäßige Verbindungen mit nur geringen Wartezeiten beim Umsteigen. Das Angebot ist zudem durch die einheitliche Symmetrie für den Kunden sehr leicht zu merken. Allerdings ist für ein ausreichend dimensioniertes Angebot in der Regel in den Hauptverkehrszeiten eine zusätzliche nachfrageorientierte Verdichtung durch Verstärkerzüge notwendig. Beispiele aus Rheinland-Pfalz („Rheinland-Pfalz-Takt“: +43 % [22]), Bayern („Bayern-Takt“: +20 % [3]) und Baden-Württemberg („3-Löwen-Takt“: +28 % [12]) haben gezeigt, dass große Fahrgastzuwächse durch die Einführung des ITF möglich sind. Hierbei ist aber zu beachten, dass ein nicht genauer bestimmter Teil der Zuwächse auf flankierende Maßnahmen (z.B. Reisezeitgewinne durch Neigetechnikfahrzeuge) zurückzuführen ist und sich die Angaben auf verschiedene Zeiträume beziehen.[12]

Der ITF hat allerdings auch einige Nachteile. Zu den größten gehören neben dem hohen Planungsaufwand (insbesondere bei mehreren beteiligten Unternehmen), die Überlastung durch das zeitlich ungleichmäßige Angebot auf Stammstrecken[13], die Kosten für die Infrastruktur (Knoten und Strecke) zur ITF-Ertüchtigung, die Reisezeitverlängerung durch Synchronisationszeiten in den ITF-Knoten für den durchreisenden Kunden sowie die Problematik der Übertragung der Verspätung einer Linie auf die anderen in den ITF einbezogenen Linien.

Deshalb sollte jede Einführung des ITF kritisch geprüft werden. Merkmale wie ein geringer Umsteigeranteil, schwankende Verkehrsnachfrage, Taktzeiten unter 15 oder über 120 Minuten sowie starker Mischbetrieb von Zuggattungen unterschiedlicher Geschwindigkeit weisen darauf hin, dass der Planungsraum nicht für einen ITF geeignet sein könnte.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, den Verkehr auf der Strecke Basel – Lindau an die Knotenzeiten der Knotenbahnhöfe einzupassen, so dass kurze aber ausreichende Übergangszeiten in möglichst viele Richtung erreicht werden.

---

[12] Für detaillierte Informationen können die genannten Quellen benutzt werden.

[13] Eine Stammstrecke ist ein Streckenabschnitt, auf dem mehrere Linien verkehren. Stammstrecken gibt es vor allem in städtischen ÖV-Netzen.

3.4. Fahrzeuge im betrachteten Regionalverkehr

Auf den untersuchten Strecken verkehren vier verschiedene Verbrennungstriebzüge[14], deren wichtigste Parameter in der Tabelle 3-1 zusammengefasst sind.

Fahrzeug	VT 611	VT 628	VT 641	VT 650
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	160	120	120	120
Leistung [kW]	2 x 540	357	2 x 257	2 x 257
Leistungsgewicht [kW/t]	5,2	4,7	5,4	5,3
Länge [m]	51,75	45,40	28,13	24,50
Sitzplätze [1./2.Klasse/Klappsitze]	23/112/13	12/134/0	8/55/17	0/68/3
Stehplätze	160	146	137	94
Gesamtplätze	308	292	217	165
Neigetechnik	ja	nein	nein	nein
Preis [Mio. €]	2,22	1,94	1,28	
Hersteller	Adtranz	Duewag	DeDiet-rich/Alstom	Adtranz

Hinweis: Die Angaben beziehen sich auf die angegebenen Quellen. Abweichungen je nach baulicher Ausführung sind möglich.

Tabelle 3-2: Überblick über Dieseltriebfahrzeuge; Quellen: [33], DE-Consult-Datenbank

Der VT 611 („Pendelino“) ist unter den genannten Triebfahrzeugen das hochwertigste. Durch den Einsatz der Neigetechnik sind hohe Geschwindigkeiten auch in engen Kreisbögen möglich. Auch für den Kunden bietet dieses relativ neue Fahrzeug (Baujahr: 1994) durch moderne Ausstattung (z.B. Haltestellenanzeige, Klimaanlage) einen hohen Komfort. Negativ zu bewerten sind allerdings die häufigen Ausfälle der Neigetechnik.[15]

Nach einer Elektrifizierung der Strecke könnten folgende Fahrzeuge zum Einsatz kommen:

[14] Die genaue Aufteilung auf die einzelnen Streckenabschnitte ist dem Abschnitt 4.1 zu entnehmen.

[15] Information aus einem Gespräch mit Herrn Seidemann, DB Regio Freiburg, bestätigt durch verschiedene Berichte über den „Pannolino“, z.B. in [16] und die Verspätungsanalyse in Abschnitt 4.3.

Fahrzeug	GTW 2/6	ET 424	ET 425
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	120	140	160
Leistung [kW]	550	2350	2350
Leistungsgewicht [kW/t]	7,9	17,4	17,4
Länge [m]	38,06	67,5	67,5
Sitzplätze [1./2.Klasse/Klappsitze]	0/111/14	24/152/30	24/152/30
Stehplätze	136	246	228
Gesamtplätze	261	452	434
Neigetechnik	nein	nein	nein
Preis [Mio. €]	1,48	3,22	3,06
Hersteller	DWA	Adtranz	Adtranz/ Bombar-dier/Siemens

Hinweis: Die Angaben beziehen sich auf die angegebenen Quellen. Abweichungen je nach baulicher Ausführung sind möglich.

Tabelle 3-3: Überblick über E-Triebfahrzeuge; Quellen: [33], DE-Consult-Datenbank

Der GTW 2/6 wird heute bereits in dieser Region auf der Seelinie eingesetzt und wäre bei einer Elektrifizierung das Wunschfahrzeug der Schweizer Kantons Schaffhausen für RB auf Schweizer Gebiet.

4. Analyse des Ist-Zustandes

4.1. Heutiges Angebot

Die Strecke Basel-Lindau ist heute nahezu eine reine Nahverkehrsstrecke. Züge des Fernverkehrs verkehren nur auf einigen kurzen Teilabschnitten.

Zwischen Singen und Schaffhausen fahren verschiedene Gattungen des Fernverkehrs (IC, EC, ICE und CIS) im 2-Stundentakt. Sie spielen für das regionale Angebot in der Bodenseeregion nur eine untergeordnete Rolle, da jeweils zeitnah ein IRE und ein RB fahren, die günstigere Fahrpreise und trotzdem ähnliche Fahrzeiten auf dieser Relation haben. Zwischen Friedrichshafen und Lindau sowie Radolfzell und Singen fahren außerdem ein, bzw. zwei Zugpaare des Fernverkehrs pro Tag.

Im Nahverkehr gibt es ein „schnelles System“ mit einem IRE mit NeiTech (VT 611) im 2-Stundentakt. Dieser benötigt für die gesamte Strecke ca. 2 ¼ Stunden. Zwischen Basel und Singen wird der 2-Stundentakt ganztags zu einem 1-Stundentakt verdichtet. Die Fahrzeit zwischen Basel und Singen beträgt ca. 70 Minuten. Ein Zugpaar des VT 611 wird bis nach Ulm durchgebunden, da dort ein Betriebscenter für den VT 611 ist. Die Wendezeit in Basel ist mit 30 Minuten für alle IRE ausreichend bemessen. Die Wendezeiten in Singen und Lindau betragen dagegen fahrplanmäßig nur sechs Minuten. In Lindau wird diese aber durch ein zusätzliches Fahrzeug auf 2:06 Stunden verlängert. Außerdem verkehren zwischen Friedrichshafen und Lindau zweistündlich IRE-Züge (Tfz. 218; Umstellung auf VT 611 ist in Planung), die nach Ulm fahren.

Die IRE werden durch ein „unterlegtes System“ von RB ergänzt: Zwischen Basel und Waldshut (VT 641) verkehren die RB im Halbstundentakt. Von diesen wird jeder zweite bis Lauchringen durchgebunden Zwischen Erzingen und Singen (VT 628), Radolfzell und Friedrichshafen (VT 650; zweistündlich ab Singen) sowie Friedrichshafen und Lindau (VT 650) wird ein angenäherter 1-Stundentakt angeboten. Die Abfahrtszeiten variieren um einige Minuten, so zum Beispiel die des RB von Friedrichshafen nach Lindau: 13:39 Uhr, 14:46 Uhr, 15:40 Uhr, 16:46 Uhr, 17:40 Uhr. Außerdem verkehrt seit 1996 nach 14jähriger Pause auf dem 7,3 km kurzen zweigleisigen Teilstück zwischen Stahringen und Radolfzell das Seehäsle (GTW 2/6; KBS 732: Radolfzell-Stockach) der EuroTHURBO GmbH. Da für die Leistungsfähigkeit des Streckenabschnittes Radolfzell-Friedrichshafen der eingleisige Streckenabschnitt zwischen Stahringen und Friedrichshafen maßgebend ist, kann das Seehäsle in der weiteren Untersuchung vernachlässigt werden.[16]

[16] Ggf. muss aber die Taktlage des Seehäsles verschoben werden, um Fahrplankonflikte zu verhindern.

Das Angebot wird durch ein Schülerverkehrszugpaar zwischen Waldshut und Erzingen ergänzt.

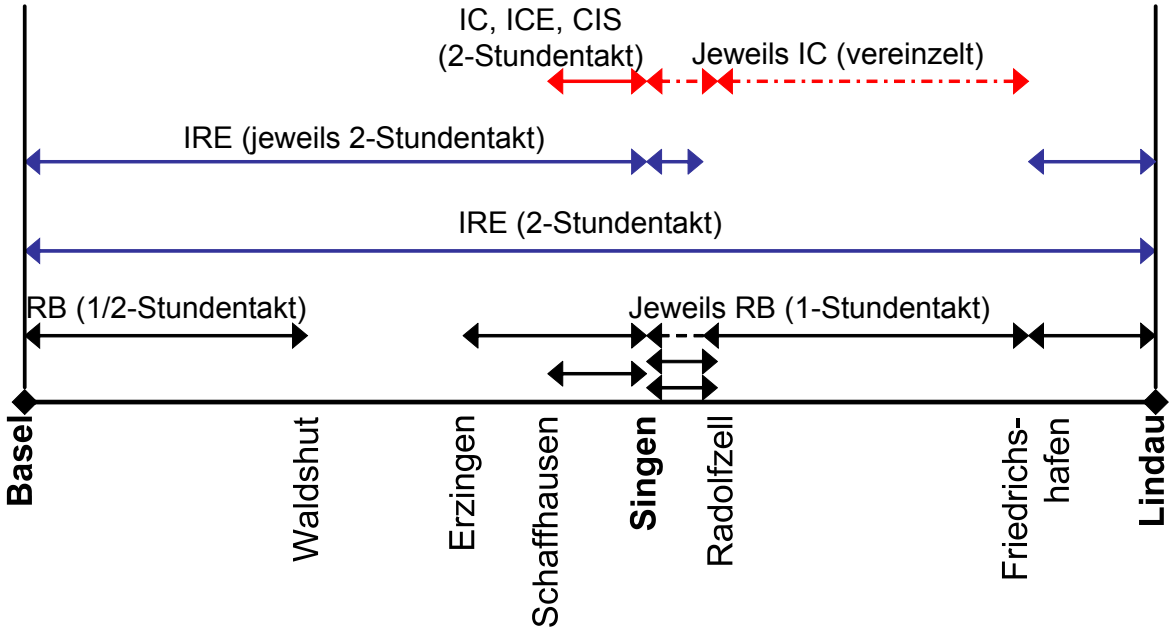

Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des aktuellen Zugangebotes; 1cm = ca. 15km

Abbildung 4-1 zeigt das heutige Angebot.[17] Das Seehäsele wird dabei nicht dargstellt, dafür aber der IRE Karlsruhe – Kostanz (Schwarzwaldbahn) sowie die RB (Winterthur –) Schaffhausen – Singen und (Engen –) Singen – Radolfzell (– Kontanz).

4.2. Fahrplananalyse mit der Software FBS

4.2.1. Einführung FBS

Das Fahrplanbearbeitungssystem FBS beinhaltet das Tool Bildfahrplan FPL. Als Eingangsdaten werden dafür Zug- und Infrastrukturdaten benötigt. Im Einzelnen sind dies:

[17] Anlage 2 (Netzgrafik) enthält weitere Detailinformationen zum heutigen Angebot.

- Infrastrukturdaten:
  - Betriebsstellen (Bahnhöfe, Haltepunkte, Streckenblöcke)
  - Anzahl Streckengleise
  - Kilometrierung
  - Höhenprofil
  - Vor- und Nachbereitungszeit am Zugmeldestellen
  - Kreuzungszeiten an Kreuzungsstellen
  - Verkehrshaltezeit

- Zugdaten:
  - Zusammensetzung (Lok, Triebfahrzeug, Last)
  - Bremseinstellung (Bremshunderstel, Bremsstellung)
  - Regelzuschlag in Prozent
  - Laufwegsabschnitte mit den zugehörigen Verkehrstagen
  - Ab-/An- und Durchfahrtszeiten
  - Zuggattung und Zugnummer

Als Quellen für die benötigten Daten sind für die Infrastrukturdaten vorwiegend das Verzeichnis der zugelassen Geschwindigkeiten [11] sowie topografische Karten im Maßstab 1:25000 geeignet. Für die Zugdaten kann das Kursbuch (hier Baden-Württemberg [12]: KBS 720, 730 und 731) verwendet werden. Die noch fehlenden Information können vom EVU, bzw. dem Infrastrukturbetreiber (hier: DB Regio AG, bzw. DB Netz AG)[18] erfragt werden, bzw. aus den Konzernrichtlinien (z.B. Verkehrshaltezeiten in [8]) entnommen werden.

An Hand einer im Programm integrierten Fahrzeugdatenbank berechnet FBS die Fahrzeiten der einzelnen Züge. Der Regelzuschlag wird dabei linear auf die Fahrzeiten verteilt. Trassenkonflikte werden von FBS erkannt. Vorschläge für die endgültige Fahrplanlage der Züge macht FBS nicht, d.h. Prioritäten, maximale Reisezeiten und sonstige Randbedingungen werden nicht berücksichtigt. Neu eingegebenen Zügen wird die nächstmögliche Trasse gegeben. Der Anwender muss danach den Fahrplan bearbeiten, also z.B. Kreuzungs- und Überholstellen bestimmen, indem die Abfahrtszeiten an geeigneten Stellen verschoben werden.

Eine wichtige Stellschraube für die Fahrplanerarbeitung ist der Regelzuschlag. Dieser kann in dem Programm frei von 0 bis 50 Prozent gewählt werden (vgl. Abschnitt 3.1). Während geringe Änderungen an der Höhe des Regelzuschlags nach gründlicher

[18] Notwendige Informationen wurden durch Herrn Seidemann, Leiter Produktion und Technik bei der DB Regio Freiburg, zur Verfügung gestellt.

Abwägung der örtlichen Bedingungen, der eingesetzten Fahrzeuge und der Erfahrungen aus dem bisherigen Betrieb möglich sind, sollte die Verkehrshaltezeit auf keinen Fall unter die tatsächlichen Werte verringert werden, da dies zu unrealistischen Fahrplänen führt, die nicht eingehalten werden können.

4.2.2. Empirische Untersuchung der Fahrplanstabilität

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde der Fahrplan [12] mit FBS als Bildfahrplan abgebildet. Bereits bei der Eingabe des „schnellen Systems“ aus IRE und Fernverkehr hat sich gezeigt, dass der Fahrplan sehr instabil ist. Die Einhaltung des Fahrplanes mit den aktuellen Zügen (vgl. Abschnitt 4.1) ist nur möglich, wenn der Regelzuschlag für die IRE auf 2 % und damit sehr gering gesetzt wird. Bauzuschläge werden nicht eingeplant. Aber selbst mit diesen Einstellungen sind die Pufferzeiten bei Zugkreuzungen und Folgefahrten häufig geringer als die in [8] vorgeschriebenen Mindestpufferzeiten. Bei den RB müssen zusätzlich in Ausnahmefällen die Kreuzungsaufenthalte verschoben werden.

In einem ersten Schritt soll nur das schnelle System untersucht werden. Anlage 3a zeigt den aktuellen Fahrplan im Soll-Zustand zwischen 12 und 16 Uhr. Es treten geringe Abweichungen bei einigen Abfahrtszeiten gegenüber dem Kursbuch [12] auf. Diese können sowohl durch verschiedene Fahrzeitenrechenprogramme als auch eine andere Verteilung des Regelzuschlages entstehen. Diese Effekte können durch unterschiedliche Rundung bei FBS und dem Kursbuch verstärkt werden.

Eine Auswertung der Pufferzeiten am Beispiel der IRE 3977 von Basel nach Lindau, der im Folgenden exemplarisch genauer untersucht werden soll, ergibt, dass sowohl bei der Zugkreuzung mit dem IRE 3858 in Erzingen als auch bei der Zugfolge ICE 182 – IRE 3977 die Pufferzeit weniger als 2 Minuten beträgt. Dies ist nicht ausreichend, um zu verhindern, dass bereits eine geringe Verspätung eines Zuges auf andere Züge übertragen wird. Die Auswirkungen einer angenommenen 2-minütigen Verspätung des IRE 3977 in Waldshut führen daher zu großen Folgeverspätungen. Anlage 3b stellt zwei verschiedene Szenarien dar. Im ersten Szenario wird versucht, die restlichen Züge fahrplantreu fahren zu lassen. Dies führt natürlich zu einer großen Verspätung des IRE 3977. Das zweite Szenario verteilt die Verspätungen auf verschiedene Züge.

Szenario	Folgeverspätungen		
	IRE 3858	IRE 3977	ICE 182
Fahrpantreue andere Züge	--	21 Minuten	--
Disposition	3 Minuten	3 Minuten	2 Minuten

Tabelle 4-1: Auswirkungen einer zweiminütigen Verspätung des IRE 3977 in Waldshut

Tabelle 4-1 fasst die Auswirkungen der angenommenen zweiminütigen Verspätung zusammen und macht deutlich, dass die heutige Fahrplankonstruktion als sehr kritisch zu bezeichnen ist, insbesondere, da in diesem ersten Schritt der Fahrplananalyse mit FBS aus Gründen der Übersichtlichkeit nur das schnelle System untersucht und von einer Verspätung von nur zwei Minuten ausgegangen worden ist. Eine solche Verspätung sollte in der Regel zu keiner Störung anderer Züge führen.

Jetzt soll dieselbe Betrachtung nach Vorgabe aus Abschnitt 3.2.3.1 mit dem „unterlegten System“ durchgeführt werden (vgl. Anlage 4). Dies ist aufgrund der Länge der Strecke und der großen Anzahl der Züge in der Bildfahrplandarstellung unübersichtlich, aber die Zusammenfassung der Untersuchung in Tabelle 4-2 verdeutlicht die Instabilität der heutigen Fahrplankonstruktion. Der IRE 3971 erfährt in Rheinfelden eine achtminütige Verspätung. Die Disposition erfolgte unter Berücksichtigung der Zuggattungen.[19]

Folgeverspätung	Anzahl Züge	Zugnummern
1-5 Minuten	5	RB 18435, RB 18547, RB 32232, RB 33206, CIS 158
5-10 Minuten	1	RB 9009
10-15 Minuten	0	--
über 15 Minuten	1	RB 32229

Tabelle 4-2: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 3971 in Rheinfelden

Die 7 betroffenen Züge erfahren insgesamt Folgeverspätung in Höhe von 38 Minuten. Der IRE 3971 selber erfährt eine Verspätung von 20 Minuten. Grund für die großen Folgeverspätungen ist die hohe Anzahl von zu geringen Pufferzeiten sowie die abschnittsweise zu hohen Belastungen. Insbesondere im Streckenabschnitt Fried-

[19] Zur besseren Lesbarkeit der Pläne wird auf die Darstellung der Zugnummern von unbeteiligten Zügen verzichtet. Das gelbe Warndreieck zeigt an, dass bei einigen Zügen ein Regelzuschlag unter 2 % eingegeben wurde.

richshafen – Lindau kommt es zu erheblichen Folgeverspätungen, da auf diesem eingleisigen Streckenabschnitt die Belastung sehr hoch ist.[20]

Diese zwei Beispiele verdeutlichen die Instabilität des aktuellen Fahrplans. Obwohl mit zwei bzw. acht Minuten nur geringen Urverspätungen angenommen werden, gibt es erhebliche Verspätungsübertragungen auf andere Züge.

4.2.3. Kennziffernanalyse

Von der in Abschnitt 3.2.3 definierten Kennziffern eignet sich vor allem der verkettete Belegungsgrad für eine Analyse des Ist-Zustandes, da dieser auch ohne den Vergleich mit alternativen Konzepten aussagekräftig ist. Mit Unterstützung von FBS kann für den aktuellen Fahrplan abschnittsweise der verkettete Belegungsgrad in der morgendlichen Hauptverkehrszeit manuell ermittelt werden. Dabei wird berücksichtigt, dass sich die Hauptverkehrszeit je nach Streckenabschnitt unterscheiden kann.

Bei zweigleisigen Streckenabschnitten wird die Strecke dafür an den Betriebstellen, an denen Züge beginnen und enden, unterteilt. Bei eingleisigen Strecken werden planmäßige Kreuzungsbahnhöfe als Teilungspunkte verwendet.[21] Für den Abschnitt Schaffhausen – Singen (Richtung Osten) wird das Verfahren beispielhaft im Anhang gezeigt. Aus der Anlage 5a können für den Untersuchungszeitraum von 7:02-8:05 Uhr folgende Werte abgelesen werden:

$$t_{SS} = 42\,\text{min}$$

$$t_{SP} = 23\,\text{min}$$

$$\rightarrow\ t_{UZ} = t_{SS} + t_{SP} = 42 + 23 = 65\,\text{min}$$

Daraus kann mit Gleichung (3-1) der verkettete Belegungsgrad berechnet werden:

[20] Die Untersuchung zur Südbahn [13] kommt auf dem Abschnitt Friedrichshafen-Lindau bei einer ähnlichen Untersuchungsweise zu vergleichbaren Ergebnissen.

[21] Dabei werden Kreuzungsbahnhöfe, die nur sehr selten genutzt werden, vernachlässigt.

$$\eta_{\text{verkettet}} = \frac{t_{SS}}{t_{UZ}} = \frac{42}{65} = 64{,}6\ \%$$

mit t_{SP} ..... Verketteter Streckenpuffer
t_{SS} ..... Verkettete Streckensperrzeit
t_{UZ} ..... Untersuchungszeitraum
$\eta_{\text{verkettet}}$ .... Verketteter Belegungsgrad

Für die Gegenrichtung ergibt sich bei gleicher Vorgehensweise ein verketteter Belegungsgrad von 83,6 % in der Spitzenstunde von 9:30-10:30 Uhr (vgl. Anlage 5b)

In Anlage 5c wird das Verfahren für eingleisige Strecken beispielhaft am Abschnitt Waldshut – Lauchringen dargestellt.

Abschnitt	Richtung	Unter-suchungs-zeitraum	Verketteter Belegungs-grad [%]
Basel – Waldshut	O → W	7:49-9:17 Uhr	90
	W → O	6:16-7:38 Uhr	94
Waldshut – Lauchringen	eingleisig	7:04-7:54 Uhr	90
Lauchringen – Erzingen	eingleisig	6:29-7:29 Uhr	53
Erzingen – Beringen Bad Bf.	eingleisig	6:00-7:01 Uhr	77
Beringen Bad. Bf. – Schaff-hausen	O → W	*	*
	W → O	*	*
Schaffhausen – Singen	O → W	7:02-8:05 Uhr	65
	W → O	9:34-10:35 Uhr	84
Singen – Radolfzell	O → W	7:54-8:54 Uhr	75
	W → O	9:11-10:11 Uhr	79
Radolfzell – Stahringen	O → W	*	*
	W → O	*	*
Stahringen – Überlingen	eingleisig	7:03-8:16 Uhr	76
Überlingen – Salem	eingleisig	6:54-7:58 Uhr	87
Salem – Friedrichshafen	eingleisig	6:32-7:36 Uhr	83
Friedrichshafen – Kressborn	eingleisig	7:49-8:49 Uhr	93
Kressborn – Lindau	eingleisig	6:45-7:45 Uhr	91

Hinweis: Mit * markierte Werte wurden nicht ermittelt, da die jeweils angrenzenden eingleisigen Streckenabschnitte maßgebend sind.

Tabelle 4-3: Verketteter Belegungsgrad in der Spitzenstunde

Die Tabelle 4-3 fasst die Ergebnisse für alle Streckenabschnitte zusammen. Bei zweigleisigen Abschnitten wird nach Richtung unterschieden.

Der verkettete Belegungsgrad sollte in der Spitzenstunde 80 % nicht überschreiten (vgl. Abschnitt 3.2.3.1). Dieser Wert wird aber zwischen Basel und Lauchringen sowie Friedrichshafen und Lindau mit über 90 % deutlich überschritten:

- Die Ursache für den hohen Wert auf dem zweigleisigen Abschnitt zwischen Basel und Waldshut ist der große Unterschied der Beförderungsgeschwindigkeiten von RB und IRE. Die daraus entstehende Geschwindigkeitsschere führt selbst bei dem relativ geringen Durchsatz von 3 Zügen je Richtung in der Spitzenstunde zu einer Überschreitung der 80 %-Marke, da es auf dem 55 Kilometer langen Abschnitt keine planmäßigen Überholungen gibt.
- Der kurze, eingleisige Abschnitt zwischen Waldshut und Lauchringen hat durch die stündliche Durchbindung eines RB aus Waldshut einen hohen Durchsatz für eine eingleisige Strecke und daraus folgend einen verketteten Belegungsgrad von über 80 %.
- Auf dem ca. 22 Kilometer langen, eingleisigen Abschnitt zwischen Friedrichshafen und Lindau resultiert das Überschreiten der praktischen Leistungsfähigkeitsgrenze aus dem hohen Durchsatz (ca. 6 Züge/Stunde) auch außerhalb der Spitzenstunde. Dies ist nur durch eine große Anzahl von Kreuzungsaufenthalten von RB zu bewältigen.

Des Weiteren gibt es einige Abschnitte mit verketteten Belegungsgraden zwischen 80 und 90 %:

- Der hohe Wert zwischen Singen und Schaffhausen auf dem Streckengleis in östlicher Richtung resultiert aus der Konzentration von Zügen rund um die Fernverkehrstrassen (ICE, CIS bzw. IC) alle zwei Stunden. Die verketteten Belegungsgrade außerhalb dieser Spitzenzeiten sind wesentlich geringer.
- Zwischen Überlingen und Friedrichshafen ist die eingleisige Strecke leicht überlastet. Da der Durchsatz außerhalb der Hauptverkehrszeit (jeweils eine Stunde morgens, mittags und nachmittags) bei nur 1,5 Zügen pro Stunde und Richtung liegt, können eventuell auftretende Probleme schnell abgebaut werden.

4.3. Analyse von Verspätungsdaten

Zur Auswertung liegen die Tagesnachweise der IRE NeiTech im Zeitraum vom 23.01. bis zum 02.02.2004 vor. Diese enthalten die Sollabfahrtszeiten und Verspätungen an ausgewählten Kontrollpunkten und eventuell zusätzlich Ort, Dauer sowie Grund einer

Verspätung. Zur Kodierung der Verspätungen wird die Kodierliste nach der Konzernrichtlinie 420.9001 (s. Anhang zu [9]) benutzt. Folgeverspätungen sind dabei „mit der primären Verspätungsursache (...) zu kodieren bis Trassen wieder ungehindert belegt werden können, d.h., dass auch der Staueffekt beseitigt sein muss“ (vgl. [9], S. 2).

Für diese Arbeit wurden sieben Tagesnachweise (23.01.2004 – 29.01.2004) von Hand in ein Tabellenverarbeitungsprogramm eingegeben und ausgewertet. Diese Tage sind natürlich nicht repräsentativ für das ganze Jahr. Einflüsse wie z.B. extremes Wetter, Ferien, Großveranstaltungen oder Feiertage beeinflussen den Betrieb. Der Zeitraum von einer Woche reicht sicherlich nicht für eine ausreichende statistische Sicherheit aus. Die Konzernrichtlinie 405.0205 [8] sieht dafür einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen vor. Da es aber abgesehen von einer für diese Jahreszeit üblichen Kälte im Untersuchungszeitraum keine nennenswerten Besonderheiten gab und Ziel der Auswertung vor allen eine qualitative Analyse des Ist-Zustandes ist, reicht die gewählte Beispielwoche aus.[22]

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Analyse der Verspätungsdaten zusammengefasst und erläutert.[23] Bei allen Ergebnissen ist zu beachten, dass hier nur die IRE untersucht werden und damit abgesehen von kurzen Abschnitten, auf denen Züge des Fernverkehrs fahren, das hochwertigste Produkt.

	IRE Basel-Lindau	IRE Basel-Singen	Gesamt
Montag-Freitag	14	17	31
Wochenende	14	7	21

Tabelle 4-4: Anzahl untersuchter IRE pro Tag

Aus Tabelle 4-2 ergibt sich eine Gesamtanzahl von 197 untersuchten IRE. Besondere IRE, das sind der IRE nach Ulm sowie der IRE 3136 (langsame Abendverbindung) wurden dabei von der Auswertung ausgeschlossen.

Von den 197 IRE waren nur 31 % an allen Kontrollpunkten (Basel, Waldshut, Singen, Radolfzell, Friedrichshafen, Lindau) pünktlich. Dabei wurden Abweichungen bis zu

[22] Um auszuschließen, dass die Verspätungen im Untersuchungszeitraum auf die Kälte zurückzuführen sind, wurden zusätzlich die wärmeren Tage vom 30.01.-02.02.2004 untersucht. Die Ergebnisse in Anlage 6 zeigen, dass es sich bei der untersuchten Woche nicht um eine außergewöhnliche schlechte Woche handelt, auch wenn dies aufgrund der geringen Grundgesamtheit nicht statistisch nachgewiesen werden kann.

[23] In der Anlage 6 sind dazu ausführliche Tabellen und auf der dieser Arbeit beigefügten CD die Auswertungsdatei zu finden. Er werden nur die für diese Arbeit relevanten Informationen ermittelt, für ausführlichere Analysen von Verspätungen wird [18] empfohlen.

einer Minute nicht als Verspätung gewertet. Die folgende Tabelle 4-5 gibt Aufschluss über die Anteile der verspäteten Züge bei verschiedenen Festlegungen der Pünktlichkeit.

	Mindestens an einem Kontrollpunkt Verspätung größer als		
	5 Minuten	**10 Minuten**	**20 Minuten**
Montag-Freitag	33 %	14 %	6 %
Wochenende	31 %	10 %	7 %
Gesamt	32 %	13 %	7 %

Tabelle 4-5: Anteil der verspäteten IRE

Ungefähr ein Viertel alle IRE hat am Endbahnhof eine Verspätung von mehr als 5 Minuten.

Definitionen für die Pünktlichkeit und Grenzen für eine zulässige Unpünktlichkeit festzulegen, bleibt anderen Arbeiten überlassen. Sie werden aber mit Sicherheit weit unter hier berechneten Werten liegen. So ist ein in [18] häufig zitiertes Merkmal für ein akzeptables Verspätungsniveau, dass 95 % aller Züge weniger als 5 Minuten Endverspätung haben.

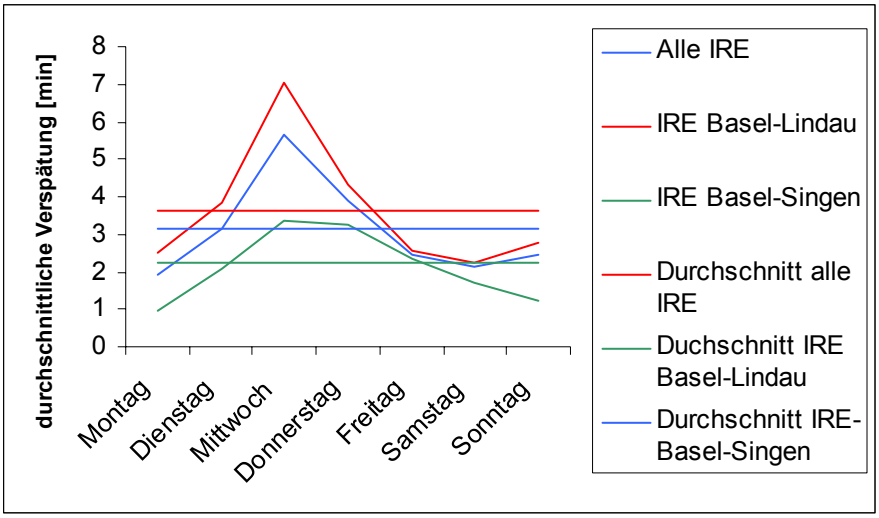

Abbildung 4-2: Detaillierte Untersuchung der Verspätungen an den Kontrollpunkten

Abbildung 2-2 zeigt, dass insbesondere die IRE Basel-Lindau große durchschnittliche Verspätungen haben.

Das hohe Verspätungsniveau erfordert eine genauere Analyse der Ursachen, um Schwachstellen der Infrastruktur und des Betriebsprogramms zu offenbaren. Die Tabelle 4-6 zeigt die Hauptgründe für die Verspätungen. Dabei wurden die nicht begründeten Verspätungen sowie Verspätungen mit dem Kode „02“ (Pseudominuten) nicht berücksichtigt.

Kodenummer	Anteil an Verspätungs-minuten	Anteil an Verspätungs-fällen	Verspätung je Fall [min]
„04“: Zugfolge	31,6 %	26,3 %	3,54
„45“: Tfz-Störungen	12,6 %	7,6 %	4,85
„25“: LST-Störungen	9,6 %	6,1 %	4,63
„47“: Bahnsteigwende[24]	8,7 %	4,6 %	5,58
„43“: Haltzeitüberschreitungen	7,6 %	8,8 %	2,52
„40“: Verspätete Übergabe an DB Netz AG	7,0 %	4,6 %	4,50
„48“: Abweichung von Fahr-plandaten[25]	6,3 %	7,6 %	2,40

Tabelle 4-6: Verspätungsursachen

Die Vergleichbarkeit zu anderen Untersuchungen (Diplomarbeit GILLE, Verspätungsursachen EC/IC-Züge 1988/1990, Untersuchung zur Aktion Zeigersprung 1995; alle in [18]) ist nur eingeschränkt möglich, da hier nur eine einzelne Strecke mit relativ geringem Güterverkehrsanteil und nur die IRE betrachtet wurden. Aber gerade deshalb sollte der Anteil der Zugfolge-Verspätungen geringer sein als bei anderen netzweiten Untersuchungen, da es sich bei IRE wie bereits erwähnt um das hochwertigste Zugprodukt auf der Strecke handelt und damit bei der Disposition gegenüber den RB bevorzugt behandelt wird. Trotzdem liegt der Wert des *Kode „04“ Zugfolge* an erste Stelle der Verspätungsursachen und weit über den Werten der anderen Untersuchungen. Deshalb werden für diese Kodenummer zusätzlich die Orte des Auftretens der Verspätung untersucht.

[24] Wendeverspätungen bei Wende am Bahnsteig von Vollzug zu Vollzug, Leerzug zu Vollzug und Vollzug zu Leerzug.

[25] Beinhaltet Verspätungen z.B. durch Überlänge, fehlende Bremshunderstel und ausgeschaltete Neigetechnik.

	Anteil Verspätungsminuten (Kode "04")	Anteil Verspätungsfälle (Kode "04")	Verspätung je Fall [min]
Erzingen	18,9 %	23,2 %	2,88
Friedrichshafen	16,0 %	15,9 %	3,55
Überlingen	11,9 %	5,8 %	7,25
Salem	8,2 %	5,8 %	5,00
Eriskirch	6,6 %	5,8 %	4,00

Tabelle 4-7: Orte des Auftretens von Zugfolgeverspätungen

Am Kreuzungsbahnhof Erzingen kommt es nahezu planmäßig zu kleineren Folgeverspätungen. Die Auswertung der Zugnummern ergibt, dass vor allem Kreuzungen in Richtung Schaffhausen aufgrund der höheren Zugzahlen in diese Richtung problematisch sind. Auch in Friedrichshafen (vorwiegend bei Zugkreuzungen Richtung Lindau) treten die Verzögerungen durch Kreuzungen auf. Ursache dafür ist das aktuelle Betriebsprogramm, das keine ausreichenden Pufferzeiten an diesen Bahnhöfen vorsieht. Verringerung der Zugzahlen, höhere Pufferzahlen (damit Verlängerung der Reisezeiten) oder der Ausbau eines zweiten Gleises sind mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Situation in Erzingen und Friedrichshafen.

Der hohe Wert je Verspätungsfall in Überlingen entsteht durch einen Extremwert[26], der aufgrund der geringen Grundgesamtheit dieser Kategorie (Kode „04“ in Überlingen: 4 Verspätungsfälle) den Anteil der Verspätungsminuten über 10 % hebt.

Auch der Anteil der *Bahnsteigwendeverspätungen (Kode „47“)* ist in Tabelle 4-6 mit 8,6 % gegenüber den anderen Untersuchungen relativ hoch. Ursache dafür ist die Wende in Singen, bei der ca. 75 % dieser Verspätungsgruppe auftreten, bedingt durch die geringe Wendezeit (6 Minuten) in Singen.

[26] Dem IRE 3973 wurde in Überlingen eine 14minütige Folgeverspätung zugeordnet, die aber aufgrund der hohen Verspätung in Radolfzell (19 Minuten) nicht auf instabile Fahrplankonstruktion zurück zu führen ist.

4.4. Zusammenführung der Ergebnisse

Es hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der theoretischen Analyse mit FBS durch die Verspätungsdaten weitestgehend bestätigt werden. In Tabelle 4-8 werden die wichtigsten Ergebnisse abschließend zusammengefasst:

	Problem	Lösungsansatz
Basel-Waldshut	• Leistungsfähigkeitsminderung durch Geschwindigkeitsschere	Schnellere RB
Waldshut - Lauchringen	• Hohe Belastung durch fehlende Bündelung	Bündelung; Wegfall der RB
Erzingen	• Verspätungen bei Kreuzungen • Hohe Auslastung Richtung Osten	Ausbau zweites Gleis
Schaffhausen-Singen	• Kurzzeitig hohe Belastung durch Fernverkehr (alle zwei Stunden)	Andere Fahrplanlage für IRE
IRE Basel-Singen	• Verspätungen durch kurze Wende-zeit in Singen	Längere Wendezeit
Friedrichshafen-Lindau	• Überlastung durch Zugzahl • Hohe Anzahl Kreuzungsaufenthalte	Ausbau zweites Gleis

Tabelle 4-8: Schwachstellen des Ist-Zustandes mit Lösungsansätzen

5. Randbedingungen

Die Strecke Basel – Singen – Lindau kann nicht für sich allein betrachtet werden. Wie Anlage 2 zeigt, sind die Bahnhöfe dieser Strecke bereits heute in das baden-württembergische, bayrische und schweizerische Eisenbahnnetz eingebunden. Aus diesem Grund werden als erste Randbedingung die Knotenzeiten, die für die Planung gelten sollen, festgelegt. Außerdem werden die Planungen für die Regio-S-Bahn Basel (Abschnitt 5.2) und für das Schweizer Kanton Schaffhausen (Abschnitt 5.3) vorgestellt und auf Relevanz für diese Arbeit untersucht. Anschließend werden die Planungsparameter, die von der DB Netz AG vorgegeben sind, vorgestellt. Als letzte Randbedingung werden dann im Abschnitt 5.5 die aktuellen Belastungszahlen für die Strecke ausgewertet.

5.1. Knotenzeiten

In Baden-Württemberg, Bayern und der Schweiz gibt es seit einigen Jahren einen Integralen Taktfahrplan. Aus Kursbüchern können die aktuellen Knotenzeiten ermittelt werden. Durch einige geplante und bereits begonnene Baumaßnahmen (vgl. Abschnitt 2.2) werden sich die Fahrzeiten und damit auch einige Knotenzeiten ändern. Für die Zeit nach dem Fahrplan 03/04 gibt es aber noch keine abschließenden Planungen. Zur Auswertung für diese Arbeit liegt eine Netzgrafik für 2007 (Stand 03/2003) mit handschriftlichen Hinweisen auf wahrscheinliche Änderungen vor.[27] Aufgrund der momentan unsicheren Finanzierung laufender und anstehender Baumaßnahmen ist es nicht möglich, verlässliche Aussagen über Fertigstellungszeitpunkte und die dann realisierten Fahrzeitgewinne zu machen. Deshalb wird als Ausgangsbasis für die Angebotserstellung die oben genannte Netzgrafik verwendet, da diese zumindest in sich schlüssig ist.

Neben den Zügen der Strecke Basel – Lindau werden auch die Abfahrtszeiten und der Takt des IRE Ulm – Friedrichshafen aus der Netzgrafik entfernt, da es verschiedene Angebotskonzeptionen für diesen IRE gibt, die abhängig vom Ausbauzustand des Abschnittes Friedrichshafen – Lindau (vgl. Abschnitt 6.1.2) sind [13]. Ebenso werden die Abfahrtszeiten der Relation Radolfzell – Stockach („Seehäsle“) entfernt, da diese auf das sonstige Angebot abgestimmt werden können. Auch die Zeiten der anderen Nahverkehrszüge müssen nicht als fest angesehen werden, sofern sich durch die Verschiebung der Taktlage keine Änderungen der Anschlusssituation an anderen Bahnhöfen ergibt.

[27] Informationen und Netzgrafik von Armin Fenske, Verkehrsplaner bei der DB Regio AG, Region Baden-Württemberg

In Anlage 8 ist die aus diesen Überlegungen resultierende Netzgrafik, die als Grundlage der Angebotsplanung dient, abgebildet. Für kurzfristige Planungen kann der Ist-Zustand (vgl. Anlage 2) verwendet werden.

5.2. S-Bahn

In der Region Basel befindet sich momentan die so genannte Regio-S-Bahn im Aufbau. Der Liniennetzplan in Abbildung 5-1 gibt den Wunschausbauzustand wieder.

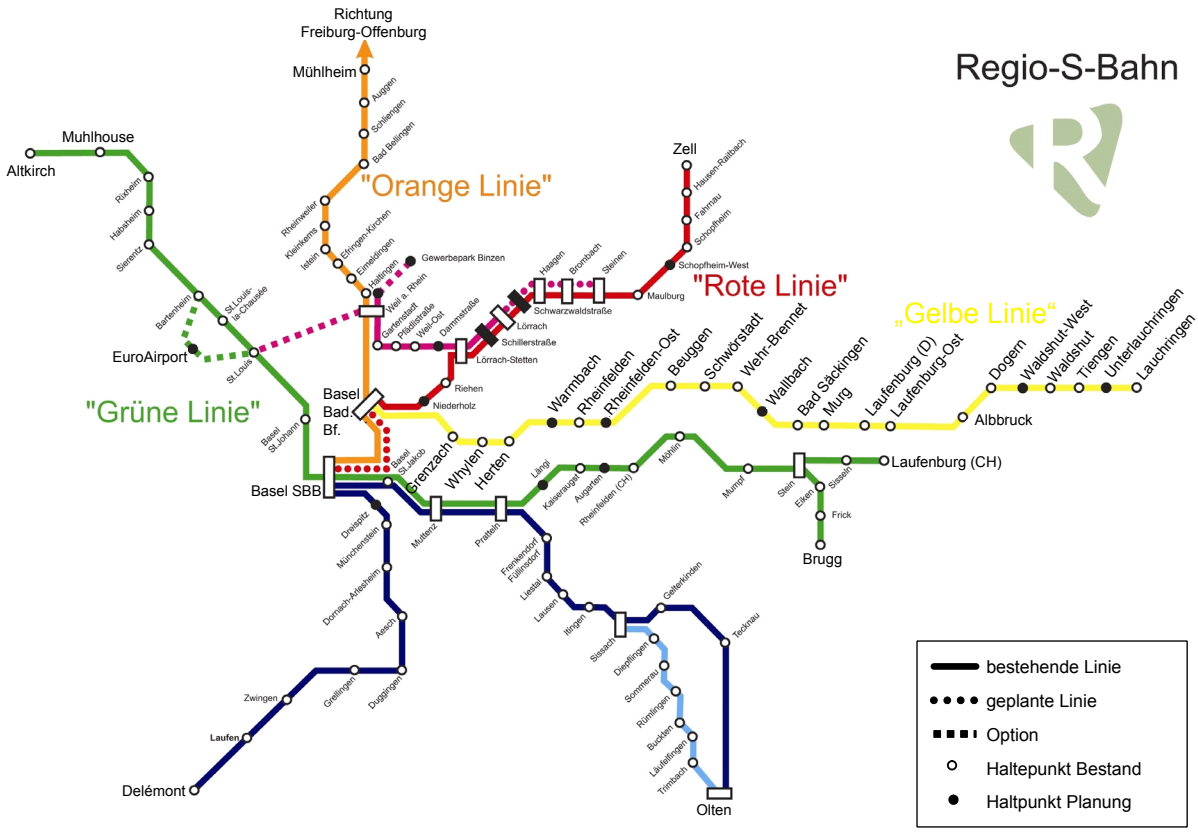

Abbildung 5-1: Liniennetzplan der Regio-S-Bahn; Quelle: www.regio-s-bahn.de (angepasst)

Aus dem Liniennetzplan geht hervor, dass auf der Hochrheinstrecke die „Gelbe Linie“ S7 verkehren soll. Allerdings gibt es aktuell keine konkreten Planungen bezüglich des S-Bahn-Betriebs oder zughöriger Baumaßnahmen.[28] Die rote und die pinke Linie Richtung Steinen/Zell sowie der Anschluss an den EuroAirport sind die aktuellen Projekte der Regio-S-Bahn.

[28] Informationen aus einem Brief von Herrn Bärnighausen, Geschäftsführer des Regio Verkehrsverbundes Lörrach GmbH (RVL)

Somit müssen und können keine konkreten Planungen für die S7 als Randbedingung bei der Angebotskonzeption berücksichtigt werden. Allenfalls bei der Untersuchung zusätzlicher Haltepunkte (vgl. Abschnitt 6.2) können die für die S7 „geplanten“ Haltepunkte Warmbach, Rheinfelden-Ost, Wallbach, Waldshut-West sowie Unterlauchringen besondere Berücksichtigung finden.

5.3. Planungen des Schweizer Kantons Schaffhausen

Der ca. 30 km lange Streckenabschnitt Erzingen – Bietingen liegt im Kanton Schaffhausen auf Schweizer Bundesgebiet.

Im Rahmen des „Bahn- und Buskonzeptes für den Klettgau 2005“ wurde eine Studie in Auftrag gegeben, deren Ergebnis u.a. die Forderung nach einem Halbstundentakt auf der Strecke Erzingen – Schaffhausen ist. Der Kanton hat für diese Bestellung bei der DB AG bereits eine Absichtserklärung abgegeben. Die Finanzierung der notwendigen Infrastrukturmaßnahmen soll in einem Arbeitskreis der beteiligten Regierungen gelöst werden. Außerdem wird die Elektrifizierung der Strecke gefordert.[29]

Die Planungen des Kantons Schaffhausen sollen in dieser Arbeit berücksichtigt werden, was bedeutet, dass sowohl der Halbstundentakt der RB als auch die Elektrifizierung untersucht werden. Die nötigen Infrastrukturmaßnahmen werden im Abschnitt 6 aufgeführt, erläutert und bewertet. Bei der kritischen Prüfung der Notwendigkeit der Maßnahmen wird bei der Angebotserstellung die Absichtserklärung für eine Bestellung des Halbstundentaktes berücksichtigt werden, aber nicht automatisch übernommen.

5.4. Planungsparameter

Bei der Angebotsplanung müssen verschiedene Planungsparameter berücksichtigt werden. Dazu gehören die Übergangszeiten und die Bauzuschläge. Diese werden deutschlandweit vom Infrastrukturbetreiber DB Netz AG festgesetzt.

Für diese Arbeit werden die *Übergangszeiten* für 2005 verwendet.[30] Die Standardübergangszeit beträgt nach [12] 5 Minuten. Allerdings gibt es viele Abweichungen, die sich aus örtlichen Besonderheiten ergeben. Die Tabelle 5-1 fasst die für diese Arbeit relevanten Übergangszeiten zusammen:

---

[29] Diese Informationen wurden von Herrn Hildebrand, Büro des Beauftragten für die deutschen Eisenbahnstrecken auf Schweizer Gebiet, zur Verfügung gestellt. Der Nutzung der Informationen wurde zugestimmt, sie sollen aber außerhalb dieser Diplomarbeit nicht publiziert werden.

[30] Diese wurden als Tabelle von der DB Netz AG, Niederlassung Südwest, zur Verfügung gestellt.

Bahnhof	Übergangszeit [min]		Bemerkungen
	allgemein	bahnsteiggleich	
Basel Bad Bf.	7	4	nächster Bstg.: 5 Min
Friedrichshafen Stadt	5	4	-
Lindau Hbf	6	4	-
Radolfzell	5	4	-
Schaffhausen	5	4	-
Singen	6	4	Gl. 6/8 - 4/5: 7 Min
Waldshut	5	4	-

Tabelle 5-1: Übergangszeiten an den Knotenbahnhöfen

Außerdem müssen folgende *Bauzuschläge* bei der Fahrlagenplanung berücksichtigt werden:

- Basel – Waldshut: 3,3 Minuten
- Waldshut – Schaffhausen: 2,3 Minuten.

Auf den weiteren Streckenabschnitten sind keine Bauzuschläge vorgesehen.[31]

5.5. Nachfrage

Die DB AG erfasst in regelmäßigen Abständen die Reisendenzahlen. Dabei werden an allen Haltepunkten die Ein- und Aussteiger gezählt und daraus die Belastungszahlen ermittelt. Diese RES-Daten (Reisenden-Erfassungs-System) sind betriebsinterne Daten, die in der Regel nicht veröffentlicht werden. Für diese Arbeit liegen die RES-Daten für das erste Halbjahr 2003 zur Auswertung vor.[32]

Die Auswertung umfasst insgesamt 182 Züge des Nahverkehrs zwischen 6 und 19 Uhr. In Anlage 7 sind diese nach Fahrtverlauf aufgeschlüsselt. Ohne Berücksichtigung bleiben dabei die Schülerzüge zwischen Erzingen und Waldshut (RB 18332: 7:09 Uhr ab Erzingen / RB 18513: 13:00 Uhr ab Waldshut). Zudem ist eine quantitative Auswertung des 10 Kilometer langen Abschnitts Singen – Radolfzell nicht sinnvoll, da dort noch etliche andere Nahverkehrszüge verkehren (vgl. KBS 720)

Ziel der Auswertung der RES-Daten ist es, eine Datengrundlage für die Berechung

[31] Eine Übersicht über die Bauzuschläge der Niederlassung (NL) Südwest wurde von der DB Netz AG, NL Südwest, zur Verfügung gestellt.

[32] Die RES-Daten wurden von der DB Regio AG sowie DB ZugBus AG zur Verfügung gestellt.

der gewichteten Beförderungszeiten (vgl. Abschnitt 3.2.3.2) und die Angebotserstellung mit der Dimensionierung zu schaffen.

Für die *Beförderungszeitberechnung* werden die Daten so aggregiert, dass die Tagesbelastungen auf den sechs Streckenabschnitten zwischen den Knotenbahnhöfen (Basel, Waldshut, Schaffhausen, Singen, Radolfzell, Friedrichshafen, Lindau) je Zuggattung vorliegen. Bei RB werden zusätzlich Erzingen und Lauchringen berücksichtigt, da dort planmäßig Züge beginnen und enden. Auf den einzelnen Streckenabschnitten wird der arithmetische Mittelwert als durchschnittliche Belastung angenommen.

Bei der *Angebotserstellung* reichen diese stark aggregierten Werte nicht aus. Daher wird die Nachfrage aller Züge stundengenau und abschnittsweise ermittelt. Dabei werden diesmal sowohl der Durchschnitts- als auch der Maximalwert auf dem Streckenabschnitt errechnet, so dass eine optimale Angebotserstellung im Hinblick auf Häufigkeit und Dimensionierung möglich ist.

Abbildung 5-2 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Auswertung für die IRE. Die Datenpunkte sind dabei mit interpolierten Linien verbunden. An dem Diagramm wird deutlich, dass die Auswertung der RES-Daten nicht die wirkliche Nachfrage wiedergibt, sondern eine angebotsabhängige Nachfrage. Obwohl es auf den dargestellten Streckenabschnitten ein regelmäßiges stündliches Angebot gibt, ist die Belastung zu den ungeraden Stunden deutlich höher. Dies liegt daran, dass der IRE zu den ungeraden Stunden bis nach Lindau fährt und damit eine höhere Attraktivität als der nur bis Singen fahrende IRE hat.

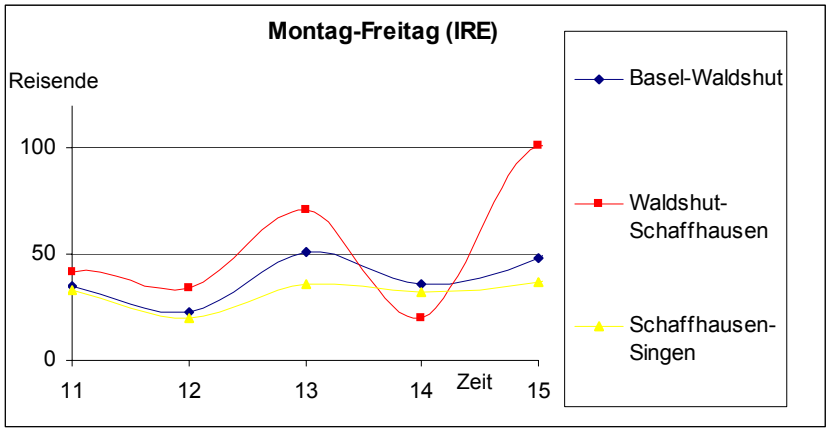

Abbildung 5-2: Auszug aus der Belastung der IRE NeiTech

Um diese angebotsabhängigen Schwankungen, die bei den RB durch unterschiedliche Fahrtenfolgezeiten noch höher sind, auszugleichen, sollte eine mathematische Ausgleichsfunktion verwendet werden.

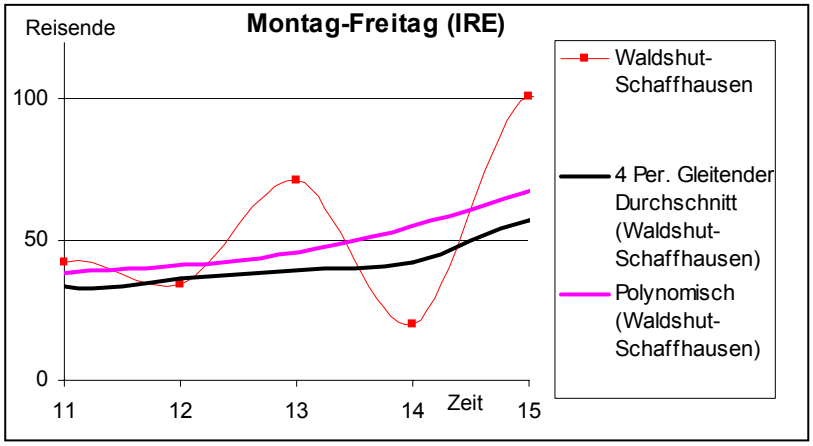

Abbildung 5-3: Ausgleichsfunktion zur Eliminierung der angebotsabhängigen Schwankungen

In Abbildung 5-3 sind zwei mögliche Ausgleichsfunktionen für einen Abschnitt eingezeichnet. Die polynomische ist für diese Zwecke besser als die Funktion des gleitenden Durchschnitts, da damit auch die Nachfragespitzen zu den Hauptverkehrszeiten gut abgebildet werden.

Abbildung 5-4 zeigt exemplarisch den Verlauf der Tagesbelastungen der IRE Basel-Lindau. Weitere wichtige Ergebnisse der Auswertungen sind in Anlage 7 zu finden.

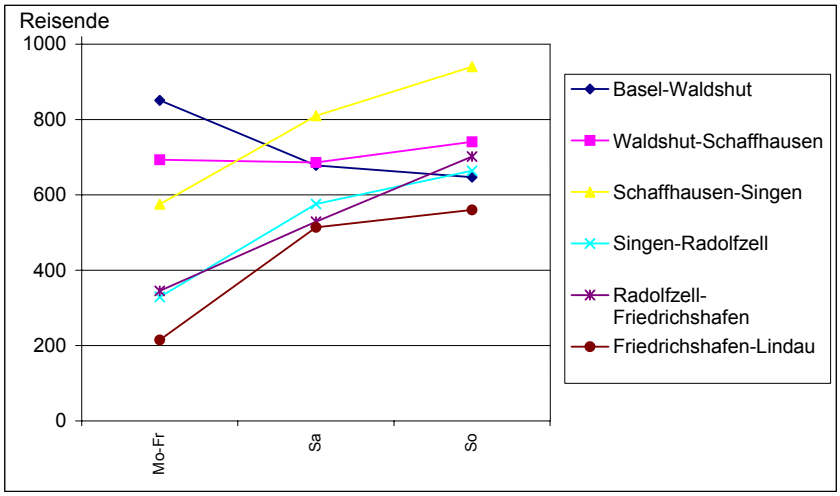

Abbildung 5-4: Tagesbelastung unterteilt nach Streckenabschnitt und Wochentag

Die untersuchten Züge haben eine Auslastung von insgesamt ca. 20 %:

- Die Auslastung über den Tag der IRE Basel – Lindau liegt bei ca. 25 %, der IRE Basel – Singen bei ca. 15 % und der RB zwischen 10 % (Schaffhausen-Singen) und 30 % (Radolfzell-Friedrichshafen).
- Auslastungen über 50 % der Sitzplätze gibt es fast nur während der Spitzenstunden morgens, mittags und abends.
- Auslastungen über 100 % sind ausschließlich auf den Schülerverkehr zurückzuführen.
- Die 1. Klasse ist fast immer weniger als 10 % ausgelastet.

Es ist zu beachten, dass es sich bei den ermittelten Werten um Durchschnittswerte von 5 bis 8 Zählungen handelt. Somit können die Maximalwerte an einigen Tagen über diesen Werten liegen. Zur Berücksichtigung dieser Schwankungen und der zu erwartenden Steigerung der Nachfrage durch ein verbessertes Angebot wird ein Zuschlag von 30 % angenommen.

Abschnitt	**RB**		**IRE**	
	Ist-Zustand	**Prognose**	**Ist-Zustand**	**Prognose**
Basel – Waldshut	316	411	107	139
Waldshut – Erzingen	32 (bis Lauchringen)	42	129	168
Erzingen – Schaffhausen	143	186	121	157
Schaffhausen – Singen	129	168	72	94
Radolfzell – Friedrichshafen	124	161	74	96
Friedrichs-hafen – Lindau	81	105	63	82

Tabelle 5-2: Belastungszahlen Spitzenstunde (jeweils Maximalwert Mo-Fr der Abschnitte)

Weitere Ergebnisse werden im Abschnitt 7 zu Begründung einzelner Entscheidungen bei der Angebotskonzeption genannt.

6. Untersuchung von Infrastrukturmaßnahmen

In diesem Abschnitt werden unterschiedliche infrastrukturelle Maßnahmen, die zu einer Verbesserung des Angebots führen könnten, vorgestellt. Dabei wird neben einer Abwägung der Vor- und Nachteile auch eine grobe Kostenschätzung nach [10] durchgeführt. Ein Vergleich der einzelnen Maßnahmengruppen ist aufgrund der vielfältigen verschiedenen Wirkungen und Zielen nicht möglich. Deshalb wird auf eine explizite Aufreihung verzichtet, sondern lediglich jede Maßnahmengruppe für sich bewertet. Über die Berücksichtigung einzelner Maßnahmen in den Konzepten wird dann in Abschnitt 7 entschieden, da die Infrastrukturmaßnahmen nicht ohne zugehörige Angebotskonzepte betrachtet werden sollten. Die Auswahl dieser Maßnahmen erfolgte aufgrund der Analyse des Ist-Zustandes (vgl. Abschnitt 4) und den Randbedingungen für die Planung (vgl. Abschnitt 5), Erkenntnissen aus der Angebotsplanung (vgl. Abschnitt 7) sowie weiteren allgemeinen Überlegungen.

6.1. Zweigleisiger Ausbau von Teilstrecken

Die untersuchte Regionalverkehrstrecke Basel – Singen – Lindau ist auf knapp 50 % eingleisig. Eingleisige Streckenabschnitte stellen grundsätzlich Schwachpunkte eine Strecke dar, da die Leistungsfähigkeit wesentlich geringer als bei zweigleisigen Strecken ist. Zudem haben eingleisige Strecken den großen Nachteil, dass es weder bei unvorhergesehenen noch bei geplanten Sperrungen (z.B. Lokschaden, Baustelle) eines Gleises eine akzeptable Umfahrungsmöglichkeit auf dem Gegengleis gibt.

Deshalb wird in den folgenden Abschnitten für alle eingleisigen Streckenabschnitte der Ausbau untersucht. Falls die Notwendigkeit zu einem zweigleisigen Ausbau festgestellt wird, wird in einem gesonderten Abschnitt darauf eingegangen.

- Waldshut – Erzingen: 20,0 km:

  Auch wenn dieser Abschnitt im Ist-Zustand ein Grund für Verspätungsübertragung bei Zugkreuzungen ist, wird der zweigleisige Ausbau nicht genauer untersucht, da diese Schwachstelle durch Änderungen des Angebotes gelöst werden kann.
- Erzingen – Beringen Bad. Bf.: 12,2 km: siehe Abschnitt 6.1.1
- Stahringen – Friedrichshafen: 51,8 km:

  Für diesen Streckenabschnitt ergibt sich weder aus der Analyse des Ist-Zustandes und den Randbedingungen noch aus den vorgeschlagenen Angebotskonzepten die Notwendigkeit zum zweigleisigen Ausbau der Strecke,

dessen Kosten voraussichtlich nicht unter 150 Millionen Euro[33] liegen würden. Davon unberührt bleiben die Überlegungen, ob die Neubausstrecke Meersburg ein- oder zweigleisig ausgeführt werden soll (vgl. Abschnitt 6.4).

- Friedrichshafen – Lindau-Aeschach: 23,4 km: siehe Abschnitt 6.1.2

6.1.1. Erzingen – Beringen Bad Bf.

Dieser Streckenabschnitt hat bereits bei der heutigen Belastung einen verketteten Belegungsgrad von 77 % in der Spitzenstunde. Um weitere Leistungssteigerungen zu ermöglichen, ist ein Ausbau der eingleisigen Strecke nahe liegend.

Aus diesen Gründen wurde Ende 2002 von der DB AG ein Vorprojekt[34] erstellt, in welchen u.a. der zweigleisige Ausbau der Strecke untersucht wird. Für den 12,2 km langen Abschnitt wurden nach [10] die Kosten ermittelt:

Maßnahme	Kosten [Mio. €]	Mio. € / km
Zweigleisiger Ausbau Erzingen – Beringen Bad. Bf.	36,0	2,95

Tabelle 6-1: Kosten des zweigleisigen Ausbaus[34]

Hintergrund dieser Untersuchung waren die Planungen des Schweizer Kantons Schaffhausen, die eine Verdichtung des RB-Zugangebotes von einem Stunden- auf einen ½-Stundentakt vorsehen (siehe dazu Abschnitt 5.3). Dies würde zu einem Betriebsprogramm führen, das deutlich über dem der heutigen Belastung liegt.

Das jetzige Betriebsprogramm kann auf der eingleisigen Strecke mit ausreichender Leistungsreserve und nahezu ohne Kreuzungsaufenthalte abgewickelt werden. Falls aber die geplante Angebotssteigerung realisiert werden soll, sollte die Strecke zweigleisig ausgebaut werden. Die Entscheidung über diese Maßnahme ist somit abhängig vom gewählten Betriebsprogramm und wird im Abschnitt 7 getroffen.

6.1.2. Friedrichshafen – Lindau

Diese Maßnahme wurde bereits im Auftrag der DB Netz AG untersucht. Die Untersuchungsergebnisse [13] liegen dem Verfasser vor.

---

[33] Annahme: Baukosten je Kilometer mindestens 3 Millionen Euro (unterer Wert der anderen Abschnitte)

[34] Informationen über dieses Vorprojekt wurden von Herrn Hildebrand, Büro des Beauftragten für die deutschen Eisenbahnstrecken auf Schweizer Gebiet, zur Verfügung gestellt. Diese Informationen sollen außerhalb dieser Diplomarbeit nicht verwendet werden.

Im aktuellen Zustand ergeben sich insbesondere für die RB aufgrund der langen Kreuzungszeiten insgesamt lange Fahrzeiten. Zudem ist in der morgendlichen Hauptverkehrszeit die Kapazitätsgrenze erreicht, so dass sich Verspätungen sehr schnell auf andere Züge übertragen.[35] Untersucht wurden dabei folgende Varianten:

- Zweigleisiger Ausbau auf der gesamten Strecke (ca. 23 km)
- Teilweise zweigleisiger Ausbau zwischen Langenargen und Lindau (ca. 14. km)

Für die zweite Variante wurden zusätzlich die Kosten ermittelt, die ein nachträglicher Ausbau zwischen Friedrichshafen und Langenargen verursachen würde.

Aus betrieblicher Sicht wird der komplette zweigleisige Ausbau dringend empfohlen, obwohl die Betriebliche Aufgabenstellung (BAST) mit dem zweigleisigen Ausbau zwischen Langenargen und Lindau möglich wäre. Allerdings würden bereits geringen Verspätungen eines Zuges auf andere übertragen werden und könnten nur langsam abgebaut werden. Außerdem kann mit einem nur teilweise zweigleisigen Ausbau nicht flexibel auf Veränderungen der Knotenzeiten in den großen Knoten und Änderung der vorgegebenen Planungsparameter reagiert werden, da sich die Begegnungsabschnitte in den eingleisigen Bereich verschieben würden.

Durch die Maßnahme würden im Regelbetrieb die RB beschleunigt, da die durch Zugkreuzungen notwendigen langen Haltezeiten wegfallen würden. Für die IRE ergeben sich nahezu unveränderte Fahrzeiten (vgl. Tabelle 6-2).

Relation	Fahrzeit (2001/2002)	Fahrzeit bei kompletter Zweigleisigkeit	Veränderung
IRE Basel-Lindau (NeiTech)	16 min	15 min	vergleichbar
IRE Ulm-Lindau	25 min	26 min	vergleichbar
RB (Durchschnittswerte)	41 min	28 min	- 22 %

Tabelle 6-2: Auswirkungen auf die Fahrzeit; Berechnung aus [13], Anhang III-2, S. 9

Umlaufoptimierung zur Einsparung von RB ist aber allein durch diese Maßnahme unter Beibehaltung der Anschlussbeziehungen und der Vertaktung des Angebots nicht möglich.

[35] Sowohl die empirische Untersuchung als auch die Ermittlung eines verketteten Belegungsgrades von über 90 % in der Spitzenstunde in dieser Arbeit bestätigen die Ergebnisse von [13].

Die Kosten wurden aufgrund der Vorplanung 1:1000 und dem Kostenkennwertekatalog [10] ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-3 dargestellt.

Maßnahme	Kosten [Mio. €]	Mio. € / km
Kompletter zweigleisiger Ausbau Friedrichshafen – Lindau	92,2	3,94
Zweigleisiger Ausbau zwischen Langenargen und Lindau	56,2	4,46
Nachträglicher Ausbau zwischen Friedrichshafen und Langenargen	37,4	3,46

Tabelle 6-3: Kosten der untersuchten Varianten; Quelle: [13], S. 37

Es zeigt sich, dass ein zweistufiger Ausbau der gesamten Strecke gegenüber dem kompletten Ausbau Mehrkosten von ca. 1,4 Mio. €, bzw. 1,5 % verursacht.

Der Verfasser schließt sich den Ergebnissen der Studie [13] an, dass ein kompletter zweigleisiger Ausbau zu empfehlen ist. Die Analyse sowohl der Studie als auch dieser Diplomarbeit (vgl. Abschnitt 4.4) haben ergeben, dass der jetzige eingleisige Ausbauzustand aufgrund der vielen Kreuzungshalte nicht ausreichend ist, um eine akzeptable Betriebsqualität zu erreichen. Ein nur teilweiser Ausbau ist nur für den geplanten Regelbetrieb ausreichend, bietet aber nicht genügend Flexibilität bei Verspätungen oder Änderung der Anschlusssituation und wird deshalb als sehr kritisch eingestuft, bietet aber aufgrund der Kostenvorteile gegenüber dem kompletten Ausbau eine interessante Variante.

Diese Maßnahme ist bereits mit 100 Millionen DM (ca. 51 Millionen Euro) in das Anti-Stau-Programm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen [4] aufgenommen. Allerdings ist die Finanzierung dieses Programms aufgrund der Verzögerung der Mauteinführung, aus dessen Einnahmen das Programm finanziert werden sollte, ungewiss. Zudem gibt es ein Projekt „Begegnungsabschnitte“ für die Strecke Ulm – Friedrichshafen im vordringlichen Bedarf des Bundesverkehrswegeplans 2003 (vgl. Abbildung 2-3).

6.2. Zusätzliche Haltepunkte

6.2.1. Einführung

Für die Einhaltung der Knotenzeiten kann es unter Umständen erforderlich sein, die Fahrzeit zwischen zwei Knoten zu verlängern (vgl. Abschnitt 3.3). In einem ersten Schritt sollten dabei die Regelzuschläge auf einen hohen Wert erhöht werden, um eine hohe Betriebsqualität zu erreichen. Werden allerdings Regelzuschläge, die deutlich über den in Abschnitt 3.1 genannten Werten liegen, verwendet, führt dies dazu, dass Zeit häufig sinnlos und damit für den Kunden nicht nachvollziehbar abgebummelt werden muss. In diesem Fall sollte die Errichtung zusätzlicher Haltepunkte in Erwägung gezogen werden.

Ein neuer Haltepunkt muss ein ausreichendes Nachfragepotenzial haben. Es müssen also im Einzugsbereich des Haltepunktes hinreichend viele Quellen oder Ziele für ÖV-Fahrten (Wohngebiete, Arbeitsplätze, Freizeiteinrichtungen usw.) sein, so dass die zu erwartende Nutzung des Haltepunktes dessen Errichtung rechtfertigt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine Doppelerschließung nur bedingt höhere Gesamtnachfrage bringt. Unter Umständen kann aber eine Doppelerschließung verkehrlich sinnvoll sein, z.B. wenn an einem Bahnhof nicht genug Parkplätze errichtet werden können oder eine Entlastung des zuführenden Straßennetzes nötig ist.

6.2.2. Standortuntersuchungen

Bei der Untersuchung der Strecke Basel – Lindau ergeben sich einige mögliche neue Haltepunkte, die zuerst mit einigen Details beschrieben und anschließend ist der Tabelle 6-4 zusammengefasst werden. Dabei werden alle neuen Haltepunkte, die für die Regio-S-Bahn geplant sind (vgl. Abbildung 5-1), berücksichtigt.

- Die im Westen von Rheinfelden gelegene Siedlung *Warmbach* ist als neuer Haltepunkt bei der Regio-S-Bahn geplant. Warmbach selber hat weniger als 1000 Einwohner und im Einzugsbereich liegen nur Städte, deren Straßenanbindung an die benachbarten Haltepunkte Herten und Rheinfelden deutlich besser ist. Die Errichtung des neuen Haltpunktes ist im Siedlungsschwerpunkt möglich.[36]
- Das Potenzial eines neuen Haltpunktes *Rheinfelden-Ost*, der ebenfalls im Rahmen der Regio-S-Bahn geplant ist, ist durch die Gewerbegebiete zwischen

[36] Es wird in diesem Stadium der Planung auf Plandarstellungen verzichtet. Die Standorte der untersuchten neuen Haltepunkte können mit topografischen Karten und Stadtplänen (z.B. im Internet unter http://www.map24.de) nachvollzogen werden.

Rheinfelden und Beuggen gegeben. Dieser neue Haltpunkt würde nur weniger als jeweils 2 Kilometer von den benachbarten Haltepunkten entfernt liegen.

- Zwischen Brennet und Bad Säckingen liegen ca. 6 Kilometer. Ein neuer Haltepunkt in Bad Säckingen-*Wallbach* könnte diese Lücke schließen, allerdings würden außer Wallbach selber keine neuen Gebiete erschlossen. Nördlich der Eisenbahnstraße ist ein guter Standort für diesen neuen Haltpunkt, der dann von Wallbach fußläufig oder über die Steinenstraße für den Straßenverkehr erschlossen werden könnte.
- Ein neuer Haltepunkt *Waldshut-West* könnte neben der Nachfrage aus dem Stadtteil Liedermatten auch die Nachfrage aus den Siedlungen entlang der B 500 aus nördlicher Richtung befriedigen. Dies setzt allerdings eine Lage in der Nähe der B 500 und ausreichend Parkplätze voraus. Aufgrund der relativ dichten Bebauung in Waldshut-West ist dies nur bedingt entlang der Eschbacher Straße zwischen dem Rothalden- und dem Frühmessweg möglich.
- *Unterlauchringen* wird von der Gleistrasse nur tangiert. Deshalb würde ein neuer Haltepunkt nur für die Einwohner im nördlichen Teil eine Verbesserung der Erschließung bedeuten, da die Anbindung an den bestehenden Haltepunkt Lauchringen über die B 34/B 314 sehr gut ist. Der beste Standort für einen neuen Haltepunkt liegt südlich des Landvogtwegs, da so eine optimale Erreichbarkeit erzielt werden kann.
- *Espasingen* liegt zwischen Stahringen und Ludwigshafen. Da es dort bereits früher einen Bahnhof gab, ist die Integration des Bahnhofes in den Stadtteil leicht möglich. Auch die Erschließung über den Bahnhofsweg ist bereits vorhanden. Im weiteren Umkreis von Espasingen liegt Bodman am Bodensee mit einem großen Nachfragepotenzial. Der jetzige Anschluss von Bodman an das Schienennetz war Ludwigshafen, das deutlich weiter entfernt als Espasingen liegt.
- Das Kloster in *Birnau* am Bodensee und das Schloss Maurach könnten durch einen neuen Haltepunkt zwischen Uhldingen und Nussdorf an das Schienennetz angeschlossen werden. Direkt an der Oberschwäbischen Barockstraße gelegen könnten diese beiden touristischen Attraktivitäten sowie der Campingplatz vom Bahnhof aus zu Fuß innerhalb weniger Minuten erreicht werden. Die große Anzahl Besucher, insbesondere des Klosters Birnau mit jährlich knapp 500000 Besuchern[37], stellt ein hohes Nachfragepotenzial für den neuen Haltepunkt dar. Allerdings zeigt die heutige Nutzung der Seelinie (Bus 7395), dass nur wenige Besucher mit öffentlichen Verkehrsmitteln anreisen. Die heutige

[37] Telefonische Auskunft des Zisterzienserklosters Birnau

Zahl von 3 (Winter) bis 15 (Sommer) Fahrgästen pro Tag[38], die die Haltestelle Birnau nutzen, rechtfertigt, auch unter Berücksichtigung des induzierten und verlagerten Verkehrs, bei weitem keinen Neubau eines Haltepunktes.

- Ein neuer Haltepunkt für die Friedrichshafener Stadtteile *Efrizweiler/Kluftern* würde zwischen Salem und Friedrichhafen-Landratsamt liegen und die genannten Stadtteilen sowie zusätzlich Lipbach und Riedheim an das Schienennetz anschließen. Standort des Haltepunktes wäre an der Verlängerung der Bahnhofsstraße in Richtung Süden. Es würden also nur geringe Erschließungskosten anfallen.

Haltpunkt	Regio-S-Bahn	Nächster Haltepunkt mit Abstand		Kosten	Nachfrage-potenzial
		Richtung Basel	Richtung Lindau		
Warmbach	ja	Herten 1,7 km	Rheinfelden 1,7 km	mittel	sehr gering
Rheinfelden Ost	ja	Rheinfelden 1,9 km	Beuggen 1,7 km	hoch	mittel
Wallbach	ja	Brennet 2,0 km	Bad Säckingen 3,3 km	gering	gering
Waldshut-West	ja	Dogern 2,7 km	Waldshut 1,8 km	sehr hoch	hoch
Unterlauch-ringen	ja	Tiengen 2,4 km	Lauchringen 1,6 km	mittel	gering
Espasingen	nein	Stahringen 5,1 km	Ludwigshafen 3,4 km	sehr gering	mittel
Birnau (Bodensee)	nein	Nussdorf 2,8 km	Uhldingen 2,2 km	sehr gering	gering
Efrizweiler/ Kluftern	nein	Markdorf 3,1 km	F'hafen Land-ratsamt 6,9 km	gering	sehr hoch

Tabelle 6-4: Übersicht über mögliche neue Haltepunkte

[38] Da diese Linie nicht bezuschusst wird, werden weder von der DB ZugBus noch vom Landratsamt Bodenseekreis Zählungen durchgeführt. Für diese Arbeit wurde deshalb eine Kurzumfrage bei mehreren Busfahrern dieser Linie durchgeführt. Informationen und Beauftragung der Zählung durch Silvio Matt, Niederlassungsleiter der DB ZugBus Regionalverkehr Alb-Bodensee GmbH.

Zusammenfassend zeigt die Tabelle 6-4 die Haupteigenschaften der oben diskutierten Haltepunkte. Die Einschätzung der Kosten erfolgt dabei unter Berücksichtigung der maßgebenden Kriterien Grundstückspreise, Erschließungskosten und Längsneigung[39] der Strecke. Bei der Abschätzung des Nachfragepotenzials wird Doppelerschließung, die keinen zusätzlichen verkehrlichen Nutzen bringt, nicht berücksichtigt.

Die für die Regio-S-Bahn geplanten Haltepunkte haben abgesehen von Waldshut-West zu geringes Nachfragepotenzial. Waldshut-West selber hat die höchsten Kosten. Bei den anderen Haltepunkten ist aufgrund der geringen Kosten und der zu erwartenden hohe Nachfrage vor allem Efrizweiler/Kluftern als neuer Standort geeignet und sollte deshalb, sofern es das Angebotskonzept zulässt, als zusätzlicher Halt für die RB aufgenommen werden.

6.3. Elektrifizierung

Die Strecke Basel-Singen-Lindau ist momentan mit Ausnahme des Abschnittes Schaffhausen-Radolfzell nicht elektrifiziert. Es soll nun untersucht werden, inwieweit eine Elektrifizierung der gesamten oder Teilen der untersuchten Regionalverkehrsstrecke sinnvoll ist.

Eine elektrifizierte Bahnstrecke wird im Volksmund als umweltfreundlich, billig und modern eingestuft und wird häufig politisch gefordert. Die Nachteile werden dabei zumeist übersehen.

[39] Nach §7 EBO soll die Längsneigung in Haltepunkte 2,5 ‰ nicht überschreiten; vgl. [21], S 73

Kategorie	Vorteile	Nachteile
Wirtschaft-lichkeit	• Weniger Wartungskosten	• Hohe Infrastrukturkosten durch Bau und Betrieb der Oberleitung und Energiever-sorgung • Insbesondere bei Triebwagen höhere Anschaffungskosten
Betrieb	• Höhere Flexibilität beim Fahrzeugeinsatz • Höhere Beschleunigungs-werte möglich • Lastenerhöhung bei Elektro-fahrzeugen meist flexibler möglich	• Ausfallrisiko Stromversorgung • Lademaßüberschreitungen nur eingeschränkt möglich (bei Abschnitten mit Tunneln hat dies aber kaum Einfluss)
Umwelt	• Kein Ausstoß von Schadstof-fen entlang der Strecke[40] • Höherer Wirkungsgrad	• Beeinträchtigungen der Umwelt während der Bauzeit
Landschafts-gestaltung		• Störung des Landschaftsbildes

Tabelle 6-5: Vor- und Nachteile der Elektrifizierung; Quelle: [2]

Die Tabelle 6-5 zählt die wichtigsten Vor- und Nachteile der Elektrifizierung eine Eisenbahnstrecke auf. Diese Tabelle hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist an einigen Stellen vereinfachend, so ist z.B. zwar die Regelwartung durch weniger Verschleißteile bei Elektrofahrzeugen billiger, aber der Ersatz defekter Teile ist häufig teurer als bei Dieselfahrzeugen.

6.3.1. Auswirkungen auf die Fahrzeit

Aufgrund der besseren Beschleunigungswerte von elektrisch betriebenen Triebfahrzeugen können insbesondere bei kurzen Haltestellenabständen deutliche Fahrzeitgewinne erreicht werden.

In den folgenden Tabellen werden die Fahrzeiten für ausgewählte Relationen zusammengefasst. Zuerst werden die Fahrzeiten für die RB verglichen. Dabei wird als Vergleichsfahrzeug für die Dieseltraktion der VT 650 herangezogen. Dieser Trieb-

[40] Auch unter Berücksichtigung der bei der Energieerzeugung emittierten Schadstoffe ist der elektrische Betrieb umweltfreundlicher.

wagen ist unter den eingesetzten der schnellste. Bei den Elektrofahrzeugen wird der ET 425 zur Fahrzeitenberechnung verwendet.[41]

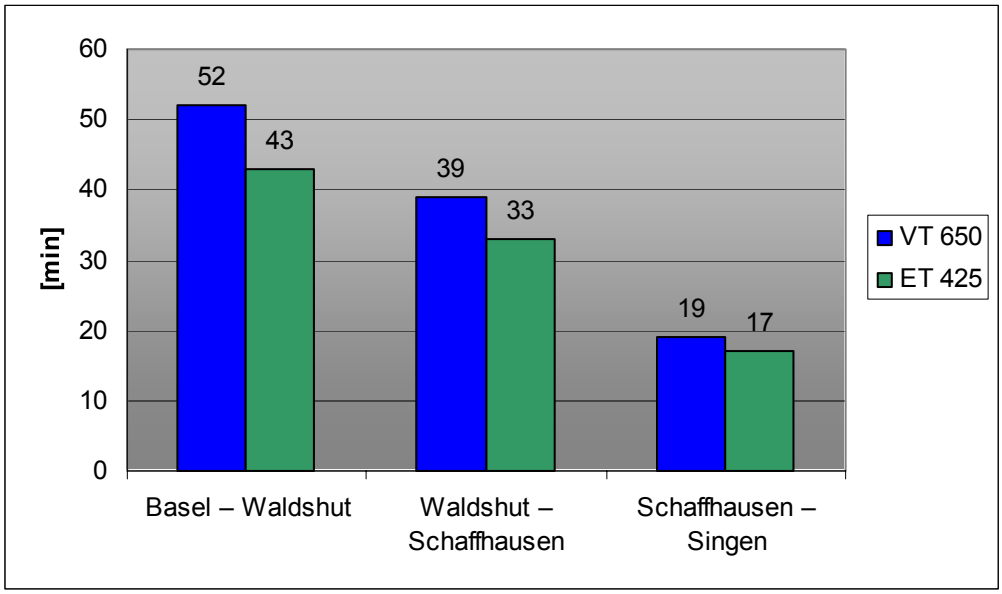

Abbildung 6-1: Beförderungszeitvergleich RB auf ausgewählten Abschnitten

Die Beförderungszeiten, die die üblichen Verkehrshaltezeiten beinhalten, nehmen im Falle einer Elektrifizierung und des Einsatzes des ET 425 deutlich ab. Auch ein Vergleich zwischen den langsamen Fahrzeugen der beiden Kategorien (Diesel: VT 628, VT 641/ Elektro: GTW 2/6) bestätigt, dass die elektrischen Triebwagen kürzere Beförderungszeiten ermöglichen:

Relation	VT 628	VT 641	VT 650	GTW 2/6
Basel – Lindau	231 min	215 min	179 min	207 min

Tabelle 6-6: Beförderungszeiten mit verschiedenen RB-Fahrzeugen auf der Gesamtstrecke

Dieselbe Berechnung wurde auch für den IRE durchgeführt. Als Vergleichsfahrzeug für den VT 611 wurde der IC T (411/415) verwendet, da es momentan keinen geeigneten elektrischen Neigetechniktriebwagen gibt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass bei Bedarf ein entsprechendes Fahrzeug geliefert werden kann.[42]

[41] Berechnungen für den ET 424 ergeben nahezu identische Zeiten.
[42] Z.B. kann die Fahrzeugfamilie TALENT der Waggonfabrik TALBOT mit Elektroantrieb und Neigetechnik betrieben werden. [33]

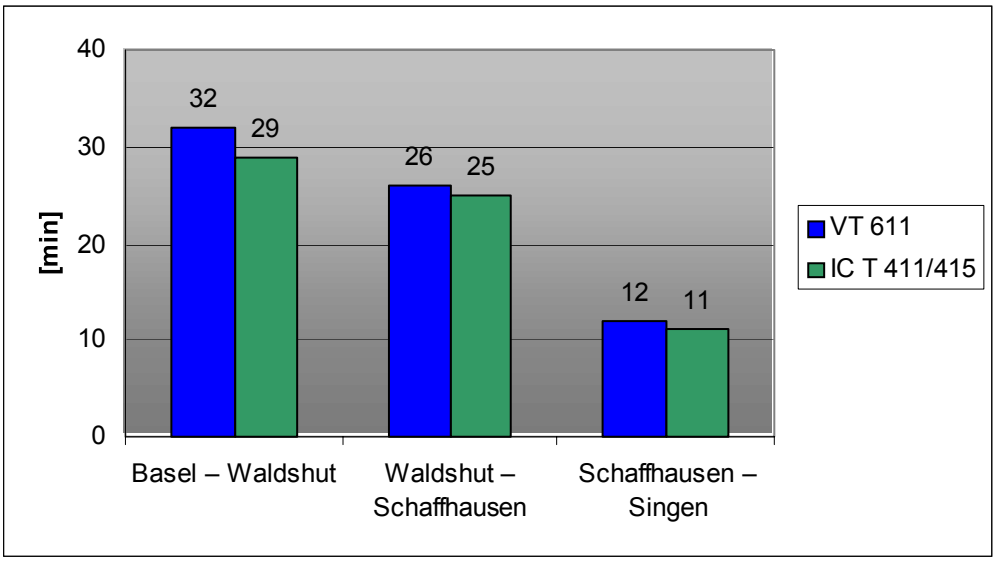

Abbildung 6-2: Beförderungszeitvergleich IRE auf ausgewählten Abschnitten

Die Fahrzeiten bei IRE unterscheiden sich wesentlich geringer. Dies liegt an den größeren durchschnittlichen Haltestellenabständen beim IRE gegenüber den der RB (IRE: 17 km; RB: 4 km). Dadurch hat der Vorteil der besseren Beschleunigungswerte bei Elektrotraktion weniger Einfluss.

6.3.2. Kostenschätzung

Die Ergebnisse der Kostenschätzung nach [10] werden in der folgenden Tabelle abschnittsweise dargestellt. In Anlage 10 ist dazu eine detaillierte Zusammenstellung der berücksichtigten Kostenpunkte zu finden.

Abschnitt		Kosten [Mio. €]	Mio. € / Gleis-km
Basel – Waldshut (zweigleisig)		29,4	0,268
Waldshut – Erzingen (eingleisig)		7,5	0,375
Erzingen – Schaffhausen	**zweigleisiger Ausbau**	12,7	0,338
	ohne Ausbau[43]	8,2	0,436
Schaffhausen – Radolfzell		bereits elektrifiziert	
Radolfzell – Friedrichshafen (eingleisig)		20,9	0,354
Friedrichshafen – Lindau (zweigleisig)[44]		15,4	0,309

Tabelle 6-7: Kosten der Elektrifizierung

[43] In einer DB AG-Projektplanung (vgl. Fußnote 34)wurden 8,6 Mio. Euro Kosten berechnet.
[44] In [13] wurde für diese Maßnahme 17,4 Mio. Euro Kosten ermittelt.

Sofern dies für die weitere Bearbeitung notwendig ist, werden sowohl der ein- als auch der zweigleisige Ausbauzustand untersucht.

Dass bei anderen Planungen, die nicht auf Basis des Kostenkennwertekataloges [10] durchgeführt worden sind, die Kosten leicht höher ausfallen, kann auf einige für die heutige Marktsituation zu geringe Einheitspreise zurückgeführt werden. Insbesondere der Einheitspreis für Oberleitungen der freien Strecke entspricht mit ca. 180 Euro je Meter nicht dem aktuellen Marktpreis von ca. 225 Euro.

Die Kosten für die Elektrifizierung der gesamten Strecke liegen somit abhängig vom Ausbauzustand zwischen 80 und 85 Millionen Euro.

6.3.3. Bewertung

Die Elektrifizierung erfüllt zwei wichtige Kriterien: Sie wird sowohl vom Verkehrsplaner als auch von der Politik positiv bewertet.

Zudem gibt es bereits einige mehr oder weniger konkrete Planungen für die Elektrifizierung von Teilstrecken. So würde im Falle der Erweiterung der Regio-S-Bahn Basel um die Linie S7 zwischen Basel und Waldshut elektrifiziert. Im Rahmen des Anti-Stau-Programms [4] ist die Elektrifizierung des Abschnittes Friedrichshafen – Lindau geplant und der Schweizer Kanton Schaffhausen plant die Elektrifizierung des auf Schweizer Bundesgebiet liegenden Abschnittes Erzingen – Schaffhausen. Nach Umsetzung dieser drei Maßnahmen wären bereits knapp 50 % der Strecke elektrifiziert, so dass die zusätzlichen Kosten bei ca. 40 Millionen Euro liegen würden.

Es wird also die Elektrifizierung der gesamten Strecke empfohlen. Nur Teilstrecken zu elektrifizieren würde bedeuten, dass Züge mit langem Laufweg trotz elektrifizierter Streckenabschnitte mit Dieseltraktion fahren müssten. Dies würde dazu führen, dass die Oberleitung bei nahezu gleichen Baukosten eine geringere Auslastung hätte.

6.4. Neubaustrecke Meersburg

6.4.1. Einführung

Zwischen Überlingen und Friedrichshafen verläuft die Trasse über Salem und Markdorf und damit nicht entlang des Bodensees. Die Trasse ist relativ kurvenreich und gegenüber einer direkten Verbindung der beiden Städte sehr lang. Aus verkehrlicher Sicht ist zu bemängeln, dass Meersburg Hafen (Fähre Richtung Konstanz) nicht an das Schienennetz angeschlossen ist.

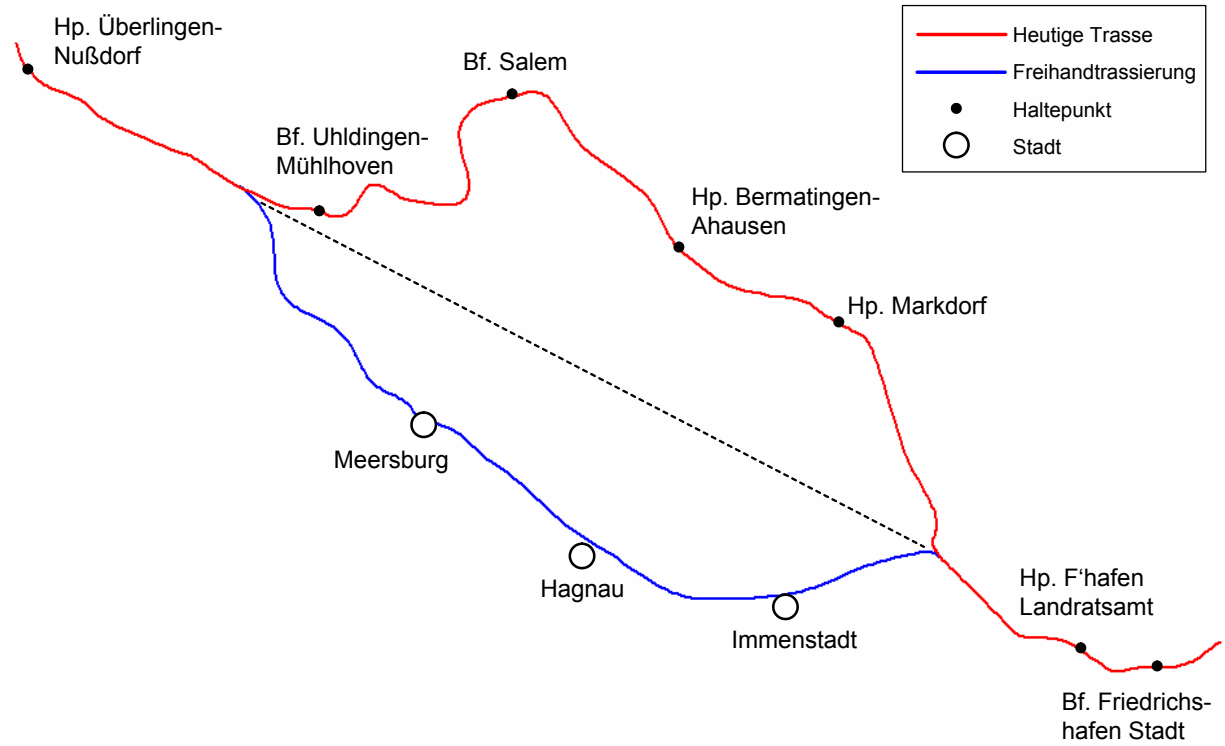

Abbildung 6-3: Abschnitt Überlingen – Friedrichshafen; 1 cm = ca. 1,5 km

In Abbildung 6-3 ist in Rot die aktuelle Trasse eingezeichnet. Blau dargestellt ist eine Freihandtrassierung entlang des Ufers. Die neue Trasse ist ungefähr 3 km kürzer und hat weniger enge Radien. Eine direkte Verbindung, die gestrichelt angedeutet ist, ist wegen der großen Höhenunterschiede nur mit vielen Tunnelbauwerken möglich und damit sehr teuer Zudem ist sie verkehrlich nicht sinnvoll, da keine größeren Städte erschlossen werden. Deshalb wird diese Variante nicht weiter untersucht.

6.4.2. Grobtrassierung [45]

Die genannten verkehrlichen Ziele (Fahrzeitverkürzung, Schienenanschluss Meersburg Hafen), die Bebauung und das hügelige Gelände sind schwierige Randbedingungen für die Trassierung der Neubaustrecke (NBS). Die meisten Siedlungsgebiete haben sich „in den Berg hinein“ ausgedehnt, deshalb ist eine tunnelfreie Lösung nicht möglich.

Als Entwurfsgeschwindigkeit v_e für Neigetechnikfahrzeuge wird 160 km/h gewählt, damit die IRE die angestrebte Fahrzeitverkürzung erreichen können. Bei Festsetzung

[45] Die in diesem Kapitel verwendeten Formeln, Grenzen und sonstige Werte stammen aus der Konzernrichtlinie 800.0110 sowie der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO). Auszüge sind in der Fachliteratur zu finden. Für diese Arbeit wurden [21] und [27] verwendet.

der Radien und Überhöhungen wird der positive Effekt der Neigetechnik berücksichtigt. Für die RB ohne Neigetechnik gilt v_e = 120 km/h (für ET 424: v_e = 140 km/h).

$$v_{max} = \sqrt{\frac{r}{11{,}8} \bullet \left(u_f + u + 1500 \bullet \tan\beta\right)} \qquad (6\text{-}1)$$

mit
v_{max} .....Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]
r .....Kreisbogenradius [m]
u_f.....Überhöhungsfehlbetrag [mm]
u .....Überhöhung [mm]
β_j.....Neigungswinkel der gleisbogenabhängigen Wagenkastensteuerung [°]

Der Regelwert für den Überhöhungsfehlbetrag beträgt 70 mm und für die Überhöhung 100 mm auf der freien Strecke. Der maximale Neigungswinkel β ist 8°.

Nach Umstellung von Gleichung (6-1) nach dem Radius r ergeben sich damit für die IRE ein Mindestradius von ca. 925 m und für die RE und RB ca. 1000 m (v_e = 140 km/h → Mindestradius: 1360 m). Im Bereich von planmäßigen Halten der Züge können die jeweiligen Grenzwerte allerdings ohne Auswirkungen auf die Fahrzeit unterschritten werden, da dort die fahrzeugseitige Höchstgeschwindigkeit ohnehin nicht erreicht werden kann.

Der Einsatz von Neigetechnikfahrzeugen stellt eine weitere Anforderung an die Trassierung, da die Neigungstechnik nicht spontan reagiert, sondern eine gewisse Stellzeit benötigt. Deshalb ist die Elementreihenfolge Bogen-Gegenbogen ausgeschlossen, bzw. könnte in diesem Streckenabschnitt die Neigetechnik nicht aktiviert werden.

Aus den Richtlinien ergeben sich weitere Randbedingungen für die Trassierung:

- Alle Trassierungselemente im Lageplan müssen mindestens die Länge $l = 0{,}4 \bullet v_e = 64\text{m}$ haben, damit es eine ausreichende Beruhigungsphase (ca. 1,5 Sekunden) gibt, so dass sich Fahrzeugschwingungen aus mehreren Unstetigkeitsstellen nicht überlagern [21].
- Die maximale Längsneigung der Gleise auf der freien Strecke soll 12,5 ‰ und in Haltepunkten 2,5 ‰ nicht überschreiten.
- In Tunneln bis 1000 Metern muss die Längsneigung mindestens 2 ‰, bei längeren Tunneln mindestens 4 ‰ betragen.

Die Grobtrassierung wird nur mit den Elementen Bogen und Gerade durchgeführt, auf Übergangsbögen und Ausrundungsradien wird sowohl im Lage- als auch im Höhen-

plan verzichtet. Die für die Trassierung verwendeten Elemente sind in Anlage 9a zu finden, in Anlage 9b sind die drei Varianten in einem Plan dargestellt.

Die NBS verlässt die Bestandstrasse bei km 23+4 und verläuft dann zwischen einem Naturschutzgebiet im Westen und der Kläranlage im Osten Richtung Unteruhldingen. Vor der Querung mit der L 201 beginnt der erste Tunnel. Nach Unteruhldingen verläuft die Strecke wieder oberirdisch parallel zur L 201. Nach dem Haltepunkt Meersburg Fähre beginnt der zweite Tunnel, der die Burg Meersburg unterquert. Bis kurz vor Hagnau verläuft die Trasse dann mit ca. 2 km entlang des Ufers. Anschließend wird Hagnau im Norden passiert. Dabei ist aufgrund der Bebauung ein kurzer Tunnelabschnitt unvermeidlich. Bis Immenstadt wird die Trasse mit der B 31 gebündelt. In Immenstadt gibt es drei Varianten der Trassenführung:

- Variante 1 („Umfahrung Immenstadt“): Die Trasse verläuft nördlich von Immenstadt gebündelt mit der B 31. Diese Variante ist fahrdynamisch nachteilig, da auf eine Länge von ca. 2,5 km der Mindestradius von 1000 m deutlich unterschritten wird.
- Variante 2 („große Tunnellösung“): Sowohl Immenstadt als auch die Siedlung Totenried werden unterirdisch passiert. Erst nach der Querung der L 207 ist die Trasse wieder oberirdisch.
- Variante 3 („kleine Tunnellösung“): Bei dieser Variante wird nur Immenstadt in einem Tunnel durchfahren.

Bei den Varianten 2 und 3 liegt der Haltepunkt Immenstadt unterirdisch.

Nach Immenstadt verläuft die Trasse bis nach dem Dornierwerk zusammen mit der B 31 in östlicher Richtung und folgt danach ungefähr dem bestehenden Anschlussgleis für das Dornierwerk.

Die Länge der NBS liegt zwischen 18,6 km (Varianten 2 und 3) und 19,0 km (Variante 1) und ist damit ca. 3 km kürzer als die Bestandstrasse, bei der zusätzlich fast die gesamte Strecke aufgrund enger Radien nicht mit der jeweiligen Entwurfsgeschwindigkeit befahren werden kann. Bei den Neubauvarianten tritt dies nur bei Variante 1 auf 2,4 km bei der Umfahrung von Immenstadt auf.

6.4.3. Kostenschätzung

Anlage 10 enthält die Kostenschätzungen zu den verschiedenen Varianten. Dabei wurde jeweils ein zweigleisiger Neubau zu Grunde gelegt, auch wenn dies nur bei einer Steigerung der Zuganzahl über das geplante Maß unbedingt nötig wäre.

Zu beachten ist aber, dass durch diese Doppelspurinsel auf der eingleisigen Strecke Radolfzell – Friedrichshafen bereits heute die Betriebsqualität durch eine Verringerung

der Anzahl reiner Kreuzungsaufenthalte verbessert und zudem Kapazitäten für zukünftige Belastungssteigerungen geschaffen werden. Ein nachträglicher zweigleisiger Ausbau, der bei den erwarteten Zugsteigerungen auf lange Sicht notwendig werden wird, würde erhebliche Zusatzkosten sowie Beeinträchtigungen für Umwelt und Anwohner verursachen.[46] Die Ergebnisse der Kostenschätzungen sind in der folgenden Tabelle 6-8 zusammengefasst:

Variante	Kosten [Mio. €]	davon Tunnel
1 („Umfahrung Immenstadt“)	224,5	44,2 %
2 („Große Tunnellösung“)	348,0	63,8 %
3 („Kleine Tunnellösung“)	319,7	61,0 %

Tabelle 6-8: Kostenschätzung für die NBS Meersburg

Die Länge der Tunnel hat den größten Einfluss auf die Kosten der drei Varianten. Die Umfahrung von Immenstadt (Variante 1) verzichtet als einzige auf den teuren Tunnel Immenstadt und ist deshalb 30-35 % günstiger als die Tunnellösungen.

6.4.4. Verkehrliche Wirkungen

Zu den wichtigsten verkehrlichen Wirkungen dieser NBS gehören die Fahrzeitunterschiede und die Änderung der Verkehrsnachfrage durch die neue Anordnung der Haltepunkte.

Die *Fahrzeitgewinne* der einzelnen Varianten gegenüber der Bestandstrasse sind in der Tabelle 6-1 dargestellt. Die angegebenen Fahrzeiten sind gemittelte Werte der von FBS für beide Richtungen berechneten Fahrzeiten ohne Verkehrshalteszeiten.

[46] Eine Kostenschätzung (vgl. Anlage 10) hat zudem ergeben, dass die Variante 1 in eingleisiger Ausführung mit ca. 185 Mio. Euro nur 17 % billiger ist.

Variante	IRE (VT 611; ohne Halt)			RB (VT 650; jeweils 4 Halte)		
	vorher	nachher	Änderung	vorher	nachher	Änderung
1	14,4 min	12,6 min	-1,8 min	19,8 min	17,9 min	-1,9 min
2		10,9 min	-3,5 min		17,4 min	-2,4 min
3		11,0 min	-3,4 min		17,4 min	-2,4 min

Tabelle 6-9: Fahrzeiten der untersuchten Varianten (Nussdorf – F'hafen Landratsamt)[47]

Die Fahrzeitenrechnung liefert plausible Ergebnisse. Die größten Änderungen sind bei den IRE festzustellen, da diese ohne Halt die höheren zugelassenen Geschwindigkeiten besser ausnutzen können. Auch sind die Unterschiede zwischen der ersten Variante und den Varianten 2 und 3 beim IRE deutlich größer, da die RB in Immenstadt, wo die zugelassene Geschwindigkeit wegen der Umfahrung bei der Variante 1 absinkt, ohnehin hält.

Für die Analyse der *Änderung der Verkehrsnachfrage* wird im Rahmen dieser Arbeit nur ein Vergleich der Nachfragepotenziale der Bestands- und der neuen Trasse durchgeführt. In den Einzugsbereichen rund um die Haltepunkte der Bestandstrasse wohnen ca. 27000 Einwohner, die neue Trasse erschließt dagegen nur knapp über 20000 Einwohner.[48] Durch die NBS würden die Haltepunkte Salem und Markdorf nicht mehr bedient werden, obwohl diese mit 1200, bzw. 1500 Ein- und Aussteigern pro Tag nach Überlingen Mitte die am häufigsten genutzten Haltepunkte auf dem Abschnitt Radolfzell – Friedrichshafen sind. Allerdings dürfen bei der Bewertung die Einflüsse des Hafen Meersburg und des Dornier-Werkes in Immenstadt nicht vernachlässigt werden. Die Reisezeiten nach Konstanz werden durch den Schienenanschluss für einige Relationen deutlich verringert und die Attraktivität der Verbindung steigt gegenüber dem Bus deutlich, vor allem, da der Bus zu den Hauptverkehrszeiten in Meersburg häufig durch Staus Verspätungen erfährt. Es ist also eine ungefähr konstante Nachfrage aus dem Bereich Überlingen – Friedrichshafen zu erwarten.

Da die Beförderungszeitgewinne gering sind, ist auch keine deutliche Zunahme des Durchgangsverkehrs zu erwarten.

[47] Die Bestandstrasse der Strecke Nussdorf-F'hafen Landratsamt ist 25,4 km lang, davon ist der die NBS betreffende Abschnitt 21,9 km lang. Die zugehörigen FBS-Dateien sind auf der beigefügten CD zu finden.

[48] Uhldingen: 7900; Salem: 11134; Bermatingen: 3720; Ahausen: 1781; Markdorf: 12424; Meersburg: 5481; Hagnau: 1332 ; Immenstadt: 5833; Quelle: [32]

6.4.5. Auswahl einer Variante und Bewertung

Vor einer Bewertung der Maßnahme „NBS Meersburg“ soll eine Empfehlung für eine der drei Varianten gegeben werden. Bei den beiden Tunnelvarianten 2 und 3 ist eindeutig die Variante 3 mit dem kürzeren Tunnel zu bevorzugen. Die Fahrzeitverkürzung bei der Variante 2 gegenüber der Variante 3 durch die direktere Trassenführung ist minimal und rechtfertigt die zusätzlichen Baukosten von knapp 30 Millionen Euro nicht.

Das Erschließungspotenzial ist bei der Variante 1 etwas geringer, da der Haltepunkt Immenstadt nicht in der Stadtmitte liegt. Zudem ist die Fahrzeit bei dieser Variante größer als bei der Variante 3:

Variante	Mio. € / IRE-min	Mio. € / RB-min
1	124,7	118,2
3	94,0	133,2

Tabelle 6-10: Vergleich von Kosten zur Fahrzeitgewinn

Aufgrund der deutlich höheren Baukosten bei der Varianten 3 ergibt der Vergleich des Quotienten aus Fahrzeitgewinn und Baukosten keine eindeutige Aussage für eine Variante. Bei einem Halt des IRE in Immenstadt würde allerdings dieser Vergleich deutlich zugunsten der Variante 1 ausfallen, da dieser den bremsenden Effekt der engen Radien nördlich von Immenstadt bei Variante 1 mindern würde.

Das entscheidende Argument gegen die Variante 2 sind die ca. 30 % höheren Baukosten. Die Variante 1 ist als Vorzugsvariante detaillierter in der Anlage 9c (Lageplan) und Anlage 9d (Höhenplan) dargestellt.

Da aber auch die Vorzugsvariante eindeutig zu wenig Nutzen für Ausgaben von über 200 Millionen Euro bringt, wird diese Maßnahme nicht zur Ausführung empfohlen und wäre politisch aufgrund der Beeinträchtigung der Umwelt sicher nicht durchsetzbar. Somit müssen Überlegungen, ob und wie der Betrieb auf der Bestandstrasse aufrechterhalten wird, nicht vertieft werden.

7. Erarbeitung von Angebotskonzepten

In diesem Abschnitt werden verschiedene Angebotskonzepte erarbeitet. Die Analyse des Ist-Zustandes hat gezeigt, dass die momentane Situation aufgrund des hohen Verspätungsniveaus mangelhaft ist. Deshalb wird im Abschnitt 7.1 ein kurzfristig umsetzbares Konzept entwickelt. Infrastrukturmaßnahmen sind dabei nicht vorgesehen. Im Abschnitt 7.2 wird ein Konzept vorgestellt, deren Kernpunkt die Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte ist. Danach wird ein langfristiges Konzept vorgestellt, zu deren Umsetzung verschiedene in Abschnitt 6 beschriebene Infrastrukturmaßnahmen notwendig sind. Abschließend wird nach einer Bewertung eine Handlungsempfehlung gegeben.

7.1. Konzept 1: Kurzfristige Verspätungsvermeidung [49]

Die Erkenntnisse dieser Diplomarbeit, Erfahrungsberichte von Reisenden auf der Strecke Basel – Lindau sowie Austausch mit Verkehrsplanern in diesem Bereich haben gezeigt, dass der jetzige Fahrplan eine sehr niedrige Stabilität hat. 25 % aller IRE-Züge haben Verspätung (mindestens fünf Minuten Endverspätung) und bereits geringe Verspätungen übertragen sich auf andere Züge. Deshalb wird in diesem Abschnitt ein Konzept erstellt, das sich zum heutigen Angebot im Wesentlichen nur durch eine geänderte Lage der Züge unterscheidet.

Für die RB Engen – Konstanz, IRE Ulm – Lindau und Singen – Radolfzell, den Fernverkehr Schaffhausen – Singen, die auf Abschnitten der Strecke Basel – Lindau verkehren, sowie für die Schwarzwaldbahn sind kurzfristig keine Änderungen zu erwarten. Deshalb werden diese Züge als fest vorgegeben in den Fahrplan übernommen.

7.1.1. Schnelles System (IRE)

Bei der Planung für das schnelle System aus IRE werden folgende Verbesserungen gegenüber dem Ist-Zustand erreicht:

- *Ausreichende Pufferzeiten zum Fernverkehr*: Die Züge des Fernverkehrs haben ausreichenden zeitlichen Abstand zu den IRE (mindestens 15 Minuten).
- *Einhalten des 1-Stundentaktes* zwischen Basel und Singen: Die Abweichungen in Höhe einiger Minuten entfallen.

[49] Die zu diesem Konzept gehörenden Unterlagen wie Fahrplanunterlagen und Umlaufplanung sind in Anlage 11 zu finden.

- *Verzicht auf Kreuzungsaufenthalte* der IRE in Erzingen: Die IRE-Zugkreuzungen finden in zweigleisigen Streckenabschnitten statt, dadurch gibt es weniger Verspätungsübertragungen. Allerdings sind zwei Kreuzungspunkte nur wenige Kilometer von eingleisigen Abschnitten entfernt, so dass dort eine Verspätungsübertragung bei Verspätung des vom eingleisigen Abschnitt kommenden Zuges möglich ist.
- Ausgeglichene und ausreichende, jedoch nicht zu große *Wendezeiten:* In Basel, Singen und Lindau sind Wendezeiten zwischen 10 und 27 Minuten geplant, wobei, wie der Umlaufplan verdeutlicht, sich immer eine kurze und eine lange Wende abwechseln. Dadurch kann ein Fahrzeug eingespart werden, da die lange Wende (2:06 Stunden) in Lindau entfällt.
- *Ausreichende Fahrzeitzuschläge*: Für den IRE werden 4 % gegenüber 2 % im Ist-Zustand vorgesehen. Da aber Wartezeiten an Kreuzungsaufenthalten entfallen, entstehen dadurch nur auf einigen Relationen und auch dort nur geringe Beförderungszeitverlängerungen.

7.1.2. Unterlegtes System (RB)

Beim unterlegten System der RB gibt es zwei Änderungen der Zugläufe gegenüber dem Ist-Zustand:

- Es wird nicht mehr jeder zweite RB Basel – Waldshut nach Lauchringen durchgebunden. Die Fahrt auf dem eingleisigen Abschnitt ist nur in zeitlich sehr naher Lage zum IRE möglich, so dass es leicht zu Verspätungsübertragungen kommen kann. Die Tagesnachweise der IRE bestätigen dieses Problem. Außerdem ist die Nachfrage auf diesem Streckenabschnitt mit knapp 150 Fahrgästen je Richtung (am Wochenende unter 100) bei 15 Zügen je Tag sehr gering. Die Umlaufpläne für beide Varianten zeigen, dass so die Einsparung eines Triebzuges möglich ist. Als vollwertigen Ersatz hält dafür der ebenfalls stündliche IRE in Lauchringen.
- Dagegen wird der RB (Singen) – Radolfzell – Friedrichshafen im Konzept 1 jede Stunde nach Singen durchgebunden. Die Fahrplanlage ermöglicht dies ohne zusätzliche Triebwagen bei gleichzeitig ausreichender Wendezeit. Diese nur 10 Kilometer lange Durchbindung ist für den Reisenden ein hoher Mehrwert, da so eine regelmäßige umsteigefreie Verbindung nach Singen hergestellt wird.

Durch die geänderte Lage der IRE ist es möglich, die Anzahl und Dauer der Kreuzungsaufenthalte zu verringern. Zudem kann der RB, bzw. die S-Bahn Winterthur –

Schaffhausen – Singen ohne den bisher nötigen längeren Aufenthalt in Schaffhausen verkehren.

Bei der Trassenfindung werden die Mindestpufferzeiten nach [8] (vgl. Abschnitt 3.1) zumindest eingehalten, nach Möglichkeit aber deutlich überschritten.

7.1.3. Kennziffernanalyse

Die Analyse der *verketteten Belegungsgrade* kann entfallen, da sich das Angebot und damit die Zugzahlen kaum geändert haben. Geänderte Trassenlagen und Zugfolgen ändern die Situation des Ist-Zustandes in Hinblick auf die Belastung nur unwesentlich.

Wichtige Ergebnisse liefert dagegen die Untersuchung der *Fahrplanstabilität*. Nach dem in Abschnitt 3.2.3.1 definierten Verfahren wird von einer achtminütigen Verspätung des IRE 1001 in Rheinfelden ausgegangen.

Folgeverspätung	Anzahl Züge	Zugnummern
1-5 Minuten	3	RB 3105, RB 9009, RB 3405
5-10 Minuten	0	--
10-15 Minuten	0	--
über 15 Minuten	1	RB 3404

Tabelle 7-1: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 1001 in Rheinfelden

Die mit FBS ermittelten Folgeverspätungen sind im Vergleich zum Ist-Zustand (vgl. Tabelle 4-2) deutlich geringer. Die Folgeverspätungen betragen insgesamt 29 statt 38 Minuten Auch die Anzahl der betroffenen Züge verringert sich von 7 auf 4 bei identischer Gesamtverspätung des auslösenden IRE. Zudem ist diesmal der Fernverkehr nicht von Verspätungen betroffen. Ursache dieser Verbesserungen sind Trassenlagen mit ausgeglichenen Pufferzeiten, die kleinere Verspätungen besser auffangen können.

Der Vergleich der *gewichteten Beförderungszeiten* (vgl. Abschnitt 3.2.3.2) liefert die erwarteten Ergebnisse. Während die gewichteten Beförderungszeiten bei den IRE durch die höheren Fahrzeitzuschläge um ca. 1,5 % steigen, sinken sie bei den RB um 6 %, da durch die Verbesserungen bei den Kreuzungsaufenthalten auf den eingleisigen Strecken deutliche Fahrzeitgewinne realisiert werden können.

Bei den *Reisezeiten* auf Routen mit Umsteigen sind dagegen Verschlechterungen zu erwarten.

Knoten	Erläuterung	Bewertung
Basel	Abstimmung auf stündlichen Fernverkehr von/nach Norden entfällt, dafür leichte Verbesserungen bei Fernverkehr Richtung Süden	-
Waldshut	Idealer Übergang (4 Minuten) aus Richtung Winterthur nach Basel möglich, vorher keine optimierten Übergänge	+
Schaffhausen	Keine wesentlichen Veränderungen (± 10 Minuten)	o
Singen	Knoten Singen bleibt erhalten	o
Radolfzell	Abstimmung auf Nahverkehr Richtung Konstanz ohne Änderung	o
Friedrichs-hafen	Ohne Änderung (weiterhin schlechter Übergang zum IRE nach Ulm)	o
Lindau	Übergangszeiten von/zum Fernverkehr steigt von 30-40 auf 40-50 Minuten	-

Tabelle 7-2: Bewertung der Anschlusssituation beim Konzept 1 im Vergleich zum Ist-Zustand

Tabelle 7-2 zeigt, dass der bisher gut einpassten Knoten Basel aufgegeben werden muss und damit durch das Konzept 1 eine deutliche Verschlechterung der Anschlusssituation erzeugt wird. Für die Anschlüsse beim RB-Verkehr auf der Strecke Basel – Lindau ergeben sich keine wesentlichen Änderungen.

7.1.4. Kostenübersicht

Infrastrukturkosten fallen bei diesem Konzept nicht an. Der Fahrzeugbedarf kann aus den Umlaufplänen abgelesen werden. Aufgrund der im Abschnitt 5.5 ermittelten Nachfrage verkehrt der RB Basel – Waldshut in Dreifachtraktion und alle weiteren Fahrzeuge in Doppeltraktion. Daraus können anschließend die jährlichen Fahrzeugkosten, wie in Abschnitt 3.2.3.5 beschrieben, ermittelt werden.

Fahrzeugtyp	Benötigte Fahrzeuge			Kosten pro Jahr [Mio. €]
	Umlauf-plan	Reserve (15 %)	Gesamt	
VT 611	8	2	10	1,74
VT 628	6	1	7	1,06
VT 641	15	3	18	1,80
VT 650	10	2	12	1,31
SUMME	**39**	**8**	**47**	**5,94**

Hinweis: Kalkulationszinssatz 6 %

Tabelle 7-3: Fahrzeugkosten im Konzept 1

Der IRE Ulm – Lindau, der Fernverkehr und der RB Schaffhausen – Singen werden dabei nicht berücksichtigt, da sie als Randbedingung für die Angebotskonzeption keine Variable sind und somit nicht in die Bewertung eingehen dürfen.

7.1.5. Bewertung

Ziel dieses kurzfristigen Konzeptes ist es, das zu hohe Verspätungsniveau auf der Strecke Basel – Lindau zu senken. Dafür werden die Reisezeitzuschläge und Pufferzeiten erhöht und die Anzahl kritischer Kreuzungen verringert. Durch weniger Verlustzeiten bei Kreuzungen können zudem Beförderungszeiten teilweise gesenkt werden. Die empirische Untersuchung der Fahrplanstabilität ergibt eindeutig, dass das Ziel erreicht wird. Demgegenüber steht der Nachteil, dass die Einbindung in das übergeordnete Netz sich deutlich verschlechtert. Die Trassenlage der IRE ist nicht mehr an den wichtigen Knoten Basel angepasst. Dadurch werden sich die Reisezeiten auf den betroffenen Routen teilweise erheblich verlängern. Allerdings kann dieser Aspekt vor dem Hintergrund, dass momentan aufgrund des hohen Verspätungsniveaus viele Anschlüsse ohnehin verpasst werden, abgeschwächt werden. Z.B. erreichen in der untersuchten Woche ca. 20 % der IRE den Fernverkehrsanschluss Richtung Norden in Basel nicht.

7.2. Konzept 2: Mittelfristige Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte [50]

Da aufgrund der finanziell schlechten Situation des Bundes und durch die Ausfälle der Mauteinnahmen momentan keine verlässliche Aussage über die Finanzierung von

[50] Die zu diesem Konzept gehörenden Unterlagen wie Fahrplanunterlagen und Umlaufplanung sind in Anlage 12 zu finden.

Infrastrukturmaßnahmen gemacht werden kann, soll hier ein weiteres Konzept entwickelt werden, das mittelfristig durch die Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte umsetzbar ist. Dabei wird von einer Umstellung auf den VT 650 bei allen RB ausgegangen. Der VT 650 verkehrt bereits heute zwischen Radolfzell und Lindau.

7.2.1. Details des Konzeptes

Das Konzept entspricht weitestgehend dem Konzept 1. Durch die schnelleren RB können in den Abschnitten Basel – Waldshut und Erzingen – Singen die Beförderungszeiten gesenkt und die Pufferzeiten erhöht werden.

Als mittelfristig mit begrenztem Budget umsetzbar wird bei diesem Konzept der Neubau der Haltepunkte Waldshut-West und Efrizweiler/Kluftern empfohlen. Die dadurch hervorgerufenen Beförderungszeitverlängerungen von ca. 1,5 Minuten kann von den RB Basel – Waldshut und Radolfzell – Friedrichshafen ohne Unterschreitung von Pufferzeiten aufgenommen werden.

7.2.2. Kennziffernanalyse

Bei der Untersuchung des *verketteten Belegungsgrad* kann vor allem im Abschnitt Basel – Waldshut eine Senkung von über 90 % im Ist-Zustand und Konzept 1 auf unter 80 % festgestellt werden. Die Umstellung von der RB vom VT 641 auf den auf diesem Abschnitt etwas schnelleren VT 650 verkleinert die Geschwindigkeitsschere.

Ebenfalls im dem Streckenabschnitt Basel – Waldshut ist die einzige Änderung gegenüber dem Konzept 1 bei der Untersuchung der *Fahrplanstabilität* nach Abschnitt 3.2.3.1 festgestellt werden. Die durch die schnelleren RB möglichen größeren Pufferzeiten zwischen den RB und den IRE verhindert die Verspätungsübertragung auf den RB 3105 und verbessert damit das Ergebnis um einige Minuten.

Der Vergleich der *gewichteten Beförderungszeiten* (vgl. Abschnitt 3.2.3.2) liefert aufgrund der schnelleren RB mit 7,5 % statt 6 % Beförderungszeitersparnis leicht bessere Ergebnisse als das Konzept 1. Die Ergebnisse der IRE bleiben unverändert.

Da sich die Knotenzeiten des Fernverkehrs gegenüber dem Konzept 1 nicht geändert haben, ist die Bewertung der *Reisezeit* des Konzeptes 2 identisch mit der des Konzept 1 (vgl. Abschnitt 7.1.3).

7.2.3. Kostenübersicht

Bei diesem mittelfristigen Konzept ist bei den Infrastrukturkosten der Neubau von zwei Haltepunkten zu berücksichtigen.

Maßnahme		Kosten [Mio. €]
Halte-punkt	Waldshut – West	1,5
	Erfizweiler / Kluftern	1,0
SUMME		**2,5**

Tabelle 7-4: Infrastrukturkostenübersicht für das Konzept 2

Die Kosten für die beiden Haltepunkte wurde dabei anhand vergleichbarer Untersuchungen, z.B. in [14], und der Analyse im Abschnitt 6.2 geschätzt.

Nach der Umstellung der RB-Fahrzeugflotte sind nur noch zwei verschiedene Fahrzeugtypen bei der Ermittlung der jährlichen Kosten zu berücksichtigen.

Fahrzeugtyp	Benötigte Fahrzeuge			Kosten pro Jahr [Mio. €]
	Umlauf-plan	Reserve (15 %)	Gesamt	
VT 611	8	2	10	1,74
VT 650	26	4	30	3,29
SUMME	**34**	**6**	**40**	**5,03**

Hinweis: Kalkulationszinssatz 6 %

Tabelle 7-5: Fahrzeugkosten im Konzept 2

Der IRE Ulm – Lindau, der Fernverkehr und der RB Schaffhausen – Singen werden wiederum nicht berücksichtigt. Beim den RB macht sich die Vereinheitlichung der Fahrzeugflotte positiv bemerkbar, da bei der Berechnung der Reservefahrzeuge nur einmal aufgerundet werden muss.

7.2.4. Bewertung

Aus Kundensicht ist dieses Konzept, das auf dem kurzfristigen Konzept 1 aufbaut, ist gegenüber diesem noch einmal eine eindeutige Verbesserung. Die Beförderungszeiten werden weiter gesenkt, der Komfort durch modernere Fahrzeuge erhöht und die Fahrplanstabilität durch höhere Pufferzeiten gesteigert. Auch für das Eisenbahnver-

kehrsunternehmen ergeben sich durch die Vereinheitlichung der RB-Flotte Vorteile, da die Fahrzeuge und das Personal auf der gesamten Strecke flexibel einsetzbar sind.

Die Umstellung auf die moderne VT 650-Fahrzeugflotte sollte deshalb, sofern keine Elektrifizierung geplant ist, sobald wie möglich umgesetzt werden. Dabei ist auch eine schrittweise Erneuerung der Fahrzeugflotte möglich. Für diesen Fall wird empfohlen, zuerst die VT 641 auf dem Abschnitt Basel – Waldshut auszutauschen und diese bis zur Erneuerung der Fahrzeuge auf dem Abschnitt Erzingen – Singen dort anstatt der alten VT 628 fahren zu lassen. Allerdings kann eine solche Betrachtung im Detail nur netzweit unter Berücksichtigung des Fahrzeugbedarfs anderer Strecken erfolgen.

7.3. Konzept 3: Langfristiges Infrastrukturausbau [51]

Für dieses Konzept sind einige Infrastrukturmaßnahmen, die im Abschnitt 6 untersucht wurden, notwendig. Im Einzelnen sind dies:

- Elektrifizierung der gesamten Strecke
- Zweigleisiger Ausbau zwischen Erzingen und Beringen
- Zweigleisiger Ausbau zwischen Friedrichshafen und Lindau
- Neubau des Haltepunktes Waldshut-West

Keine Berücksichtigung findet dagegen die NBS Meersburg. Diese Maßnahme wurde in Abschnitt 6.4.5 als nicht empfehlenswert eingestuft.

7.3.1. Schnelles System (IRE)

Durch die Elektrifizierung können einige Minuten Fahrzeitersparnis gegenüber der Dieseltraktion (VT 611) erreicht werden.

Bei der Lage der IRE werden vor allem die Knoten Basel und Singen berücksichtigt. Für den IRE Richtung Singen/Lindau ergibt sich die beste Lage bei einer Abfahrt in Basel zur Minute 44, da dann ein Umstieg vom Fernverkehr aus Norden möglich ist. Außerdem wird so ein Umstieg mit 10 Minuten Übergangszeit auf den Fernverkehr in Radolfzell und Singen erreicht. Auch in Friedrichshafen wird der Übergang zum IRE nach Ulm bei einer Übergangszeit von 5 Minuten ermöglicht. In Lindau dagegen wird der Anschluss zum zweistündigen Fernverkehrszug nach Zürich verpasst, dafür werden die dortigen Nahverkehrszüge mit kurzer Übergangszeit sowie der Fernverkehr nach München mit 20 Minuten erreicht. Die Verbindung nach Zürich ist aber aufgrund des optimierten Anschluss der Fähre Friedrichshafen – St. Gallen ohnehin nicht so bedeutend.

[51] Die zu diesem Konzept gehörenden Unterlagen wie Fahrplanunterlagen und Umlaufplanung sind in Anlage 13 zu finden.

Für die Rückrichtung ergibt sich bei einer Abfahrt zur Minute 10 in Lindau ein ähnliches Bild. Die Anschlussaufnahme in Singen und Radolfzell funktioniert mit einer Übergangszeit von 7-10 Minuten und in Basel kann der Fernverkehr Richtung Norden mit 7 Minuten erreicht werden. In Lindau ist dagegen wiederum der Übergang vom Fernverkehr nicht optimiert.

Die weiteren nicht genannten Anschlüsse sind aufgrund der Lage im Netz nicht wichtig. So ist z.B. ein Reisender aus der Umgebung von Friedrichshafen mit Fahrtziel Stuttgart auf den Fernverkehr in Singen nicht angewiesen, da eine Verbindung mit der Südbahn schneller ist. Beim Takt wird gegenüber dem Ist-Zustand keine Änderung vorgenommen. Das System mit dem 1-Stundentakt bis Singen und 2-Stundentakt ist aufgrund der Fahrgastzahlen gerechtfertigt. Ein durchgehender 1-Stundentakt würde zusätzliche Infrastrukturmaßnahmen im Bereich Radolfzell – Friedrichshafen erfordern, um eine zu hohe Zahl von Zugkreuzungen zu vermeiden. Die beschriebene Trassenlage ermöglicht eine gute Umlaufplanung. Das Konzept kann mit vier IRE gefahren werden, die Wendezeiten betragen dabei 26 Minuten in Basel und 14 Minuten in Singen und Lindau.

Für die Südbahn Ulm – Friedrichshafen – Lindau wird der in [13] vorgeschlagene 1-Stundentakt übernommen. Als Knotenzeiten sind dabei in Friedrichshafen 20/39 (Abfahrt/Ankunft Richtung Lindau) vorgegeben.

7.3.2. Unterlegtes System (RB)

Im Abschnitt *Basel – Waldshut* wird der ET 425 im einen Halbstundentakt verkehren. Der neu zu errichtende Haltepunkt Waldshut-West wird auch in diesem Konzept bedient. Die Taktlage ist dabei weitestgehend durch die IRE vorgegeben. Zusätzlich ergänzt wird das System durch einen stündlichen Verstärkerzug während der Hauptverkehrszeiten von 7-9 und 13-19 Uhr auf dem am höchsten belasteten Abschnitt Basel – Rheinfelden. Dabei sollte ein in Basel Bad. Bf. endender Zug durchgebunden werden, bei dem dies die Umlaufplanung ohne zusätzliche Züge zulässt. Wie bereits im Konzept 1 wird der RB Basel – Waldshut nicht nach Lauchringen durchgebunden. Es ist aber durch die Trassenlage der IRE möglich, dass diese zusätzlich in Lauchringen halten und so ein stündlicher Anschluss an das Schienenetz weiterhin gewährleistet ist. Damit wird eine politisch durchsetzbare Lösung erzielt, da Lauchringen nicht vom Schienennetz getrennt wird.

Stündlich wird ein RB in die Schweiz bis nach Bülach (KBS 730.4) durchgebunden. Dies stärkt die Anbindung der Region Waldshut an den Großraum Zürich.

Zwischen *Waldshut und Erzingen* wird weiterhin ein Schülerzugpaar verkehren. Die Abfahrtszeiten müssen dabei gegenüber der Ist-Lage verschoben werden. Die genaue Lage muss mit den betroffenen Schulen abgesprochen werden. In den Fahrplanunterlagen wird eine frei gewählte Trassenlage exemplarisch dargestellt.

Da Planung im Nahverkehr überwiegend Angebotsplanung ist, ist die Verdichtung eines Taktes auch möglich, wenn die Nachfrage dies nicht rechtfertigt. Dies ist der Fall auf dem Streckenabschnitt Erzingen – Schaffhausen. Die durchschnittliche Tagesbelastung der RB liegt wochentags unter 400 Reisende pro Tag und Richtung, davon entfallen allein rund 25 % auf die Spitzenstunde. In den übrigen Stunden liegt die aktuelle Belastung bei nur ca. 15 Fahrgästen je Stunde. Trotzdem will der Kanton Schaffhausen einen durchgängigen ½-Stundentakt für diese Strecke (vgl. Abschnitt 5.3). Für dessen Umsetzung ist ein zweigleisiger Ausbau des Streckenabschnitts notwendig. Der ½-Stundentakt wird mit dem von Schweizer Seite aus gewünschten GTW 2/6 geplant. Dabei wird jeder zweite RB bis nach Singen durchgebunden. Bei der Suche der Trassenlage wird vor allem berücksichtigt, dass es auf allen Teilabschnitten zwischen *Erzingen und Singen* ein gleichmäßiges Angebot gibt. Neben den GTW 2/6 verkehren auch noch die IRE NeiTech und die RB Winterthur – Singen auf dieser Strecke. Eine Durchbindung der RB Erzingen – Schaffhausen nach Bülach als Teil des Züricher S-Bahn-Systems ist aufgrund der vorgegebenen Trassenlagen nicht möglich. Bei einer Verschiebung der Ankunfts- und Abfahrtszeiten der S-Bahn aus Bülach wäre dies aber möglich und würde eine bessere Verbindung zwischen den Regionen Singen/Erzingen und Zürich bewirken.

Auf dem Abschnitt *Radolfzell – Friedrichshafen* bleibt das Angebot gegenüber dem Ist-Zustand unverändert. Eine Taktverdichtung ist mit der jetzigen Infrastruktur nicht möglich, aufgrund der Fahrgastzahlen aber auch nicht notwendig. Die Trassenlage der stündlichen RB Radolfzell – Friedrichshafen (zweistündlich ab Singen) ist abhängig von der IRE. Dabei wird versucht, möglichst wenige Zugkreuzungen in eingleisigen Abschnitten zu planen. Mit der aktuellen Planung für das schnelle System der IRE ist es nicht möglich, die RB so zu legen, dass alle Zugkreuzungen in einem kurzen Abschnitt stattfinden, so dass dort ein zweigleisiger Ausbau gerechtfertigt wäre. Als zusätzlicher Haltepunkt wird in diesem Abschnitt der bestehende Bahnhof Stahringen empfohlen, auch wenn dies das Potenzial vom Seehäsle Radolfzell – Stahringen – Stockach verringert. Dieser Halt ist zum Einhalten ausreichender Pufferzeiten zweistündlich ohnehin notwendig. Der in Abschnitt 6.2 empfohlene neue Haltepunkt Efrizweiler/ Kluftern kann in dieses Konzept nicht integriert werden, da

aufgrund der Trassenlage der IRE dies nur mit weiteren Zugkreuzungen oder Unterschreitungen der Mindestpufferzeiten möglich wäre.

Der stündliche RB im Abschnitt *Friedrichshafen – Lindau* wird so gelegt, dass sich ein möglichst regelmäßiges Angebot auf diesem Streckenabschnitt ergibt. Bisher war es aufgrund der Abneigung Österreichs gegenüber dieselgetriebenen Fahrzeugen auf eigenem Gebiet nicht möglich, RB nach Bregenz oder weiter durchzubinden. Nach der Elektrifizierung entfällt dieser Hinderungsgrund. Deshalb sollten die RB zumindest bis Bregenz fahren. Dies ist ohne weiteren Fahrzeugbedarf umsetzbar.

Auf Durchbindungen von RB-Linien innerhalb der Strecke Basel – Lindau wird verzichtet. Dies wäre aufgrund der Fahrzeugwahl ohnehin nur zwischen Radolfzell und Friedrichshafen möglich, ist dort aber wegen der unterschiedlichen Trassenlagen, die nicht beliebig verschoben werden können, nicht möglich. Zudem ist es sinnvoll, zum Abbau von eventuellen Verspätungen durch Zugkreuzungen im eingleisigen Abschnitt Stahringen – Friedrichshafen in den beiden Endbahnhöfen dieser Strecke die Wendezeiten als zusätzliche Pufferzeiten zum Verspätungsabbau nutzen zu können.

7.3.3. Kennziffernanalyse

Die verketteten Belegungsgrade ändern sich gegenüber dem Ist-Zustand vor allem in den Abschnitten, die in Tabelle 7-6 aufgeführt sind.

Abschnitt	Richtung	Verketteter Belegungs-grad [%]	
		Ist-Zustand	Konzept 2
Basel – Waldshut	O → W	90	68
	W → O	94	68
Waldshut – Lauchringen	eingleisig	90	75
Erzingen – Beringen Bad Bf.*	O → W	77	51
	W → O		52
Friedrichshafen – Lindau*	O → W	92	44
	W → O		45

Hinweis: Mit * gekennzeichnete Strecken sind im Ist-Zustand eingleisig.

Tabelle 7-6: Verketteter Belegungsgrad in der Spitzenstunde (Konzept 2)

Ein Grund für die generelle Abnahme des verketteten Belegungsgrades ist die Homogenisierung der Beförderungszeiten und des Fahrplans. Dadurch gibt es kleinere Geschwindigkeitsscheren und geringere Belastungsspitzen. Auf dem Abschnitt Waldshut – Lauchringen macht sich zudem der Wegfall der RB bemerkbar. Die relativ geringen Werte auf den Abschnitten Erzingen – Beringen und Friedrichshafen – Lindau zeigen, dass der zweigleisige Ausbau kritisch zu bewerten ist, da die neue Infrastruktur nicht ausreichend genutzt wird.

Die Untersuchung der *Fahrplanstabilität* zeigt, dass der Ausbau des zweiten Gleises auf zwei Abschnitten die Anfälligkeit zur Verspätungsübertragung erheblich senkt.

Folgeverspätung	Anzahl Züge	Zugnummern
1-5 Minuten	4	RB 3007, RB 3403, IRE 1502, ICE 101
5-10 Minuten	0	--
10-15 Minuten	0	--
über 15 Minuten	0	--

Hinweis: Die Verspätung des ICE 101 kann komplett in Singen abgebaut werden.

Tabelle 7-7: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 1001 in Rheinfelden

Die betroffene IRE 1001 selber erfährt nahezu keine Folgeverspätung und kann sogar seine achtminütige Urverspätung in Rheinfelden durch Nutzung des Fahrzeitzuschlages um 5 Minuten verringern. Die vier von Folgeverspätung betroffenen Züge haben insgesamt Endverspätungen in Höhe von nur 13 Minuten.

Die gewichteten *Beförderungszeiten* können durch die Elektrifizierung und die wegfallenden Zugkreuzung deutlich gesenkt werden. Dies macht sich vor allem bei den RB (-13 %) bemerkbar. Bei den IRE ergibt sich ein Rückgang von ca. 4 %, so dass insgesamt ca. 550 Stunden pro Werktag (9 %) gegenüber dem Ist-Zustand eingespart werden.

Durch verbesserte Übergänge zwischen IRE und Fernverkehr (vgl. Abschnitt 7.3.1) bessere Abstimmung innerhalb des Nahverkehrs, Durchbindungen (RB Basel – Waldshut - Bülach) und zwei Taktverdichtungen werden auch die *Reisezeiten* bei Verbindungen mit Umsteigen sinken.

Positiv ist auch die Taktverdichtung in den Abschnitten Basel – Rheinfelden (stündlicher Verstärkerzug), Erzingen – Schaffhausen (RB im ½-Stundentakt) und Friedrichshafen – Lindau (IRE nach Ulm in Stundentakt).

7.3.4. Kostenübersicht

Die Infrastrukturkosten belaufen sich für die Maßnahmen Elektrifizierung, zweigleisiger Ausbau Erzingen – Beringen und Friedrichshafen – Lindau sowie den Haltepunkt Waldshut-West auf insgesamt 215,5 Millionen Euro.

Maßnahme		Kosten [Mio. €]
Elektrifizierung		85,9
Zweites Gleis	**Erzingen – Beringen**	36,0
	F'hafen – Lindau	92,2
Haltepunkt Waldshut-West		1,5
SUMME		**215,5**

Tabelle 7-8: Infrastrukturkostenübersicht für das Konzept 3

Mit Hilfe der in Abschnitt 5.5 ermittelten Nachfragedaten kann ermittelt werden, dass bei den RB auch in den Spitzenstunden Einfachtraktion ausreichend ist. Im Abschnitt Erzingen – Schaffhausen wird dies durch den ½-Stundentakt möglich. Im Abschnitt Schaffhausen – Singen wird die Kapazitätsgrenze des GTW 2/6 leicht überschritten. Aus den Ein- und Aussteigerzahlen lässt sich allerdings ablesen, dass ca. 70 % der Reisenden dieser Relation erst in Schaffhausen einsteigen und somit eine Verlagerung einiger Reisender auf die anderen Angebote auf dieser Strecke anzunehmen ist, sofern dauerhaft alle Sitzplätze belegt sind. Zudem liegt die mittlere Beförderungszeit auf diesem Abschnitt unter 15 Minuten, so dass eine ausnahmsweise Nutzung der bisher nicht berücksichtigten Stehplätze in der Spitzenstunde vertretbar ist. Bei den IRE ist dagegen mit Doppeltraktion zu fahren, um für alle Fahrgäste auch am Wochenende bei verändertem Nachfrageverhalten einen Sitzplatz vorhalten zu können. Aus den Umlaufplänen kann dann der Fahrzeugbedarf abgelesen werden.

Fahrzeugtyp	Benötigte Fahrzeuge			Kosten pro Jahr [Mio. €]
	Umlauf-plan	Reserve (15 %)	Gesamt	
ET 425	10	2	12	2,87
GTW 2/6	4	1	5	0,58
IRE NeiTech	8	2	10	1,74
SUMME	**22**	**5**	**27**	**5,19**

Hinweise: Für den IRE NeiTech wird der Preis des VT 611 angesetzt; Kalkulationszinssatz 6 %

Tabelle 7-9: Fahrzeugkosten im Konzept 3

Beim GTW 2/6 wird das vierte Fahrzeug nur durch das Schülerzugpaar von und nach Waldshut benötigt. Eventuell kann durch eine netzweite Betrachtung dieses Fahrzeug noch eingespart werden.

7.3.5. Bewertung

Kennzeichnend für dieses Konzept sind die Infrastrukturkosten von über 200 Millionen Euro. Diese kommen vor allem durch die Elektrifizierung und die zweigleisigen Ausbau zustande:

- Die *Elektrifizierung* ist für diese Strecke neben den allgemeinen Vorteilen (vgl. Abschnitt 6.3) vor allem wichtig, da die IRE durch die Fahrzeitverkürzung die Knotenzeiten in Basel und Singen erreichen. Dies ist mit den VT 611 mit Dieseltraktion nur mit zu geringen Fahrzeitzuschlägen möglich. Zudem kann durch die Fahrzeitgewinne bei den RB ein wesentlich stabilerer Fahrplan konstruiert werden.
- Der *zweigleisige Ausbau Erzingen – Beringen* erfüllt neben der Aufgabe, den vom Kanton Schaffhausen gewünschten Mehrverkehr zu ermöglichen, auch die wichtige Aufgabe, die bisherige Verspätungsübertragung durch IRE-Zugkreuzungen zu verringern.
- Der *zweigleisige Ausbau Friedrichshafen – Lindau* ist für den geplanten Stundentakt der Südbahn erforderlich.

Diese Infrastrukturmaßnahmen sind somit eine Voraussetzung, um den geplanten Mehrverkehr bei gleichzeitig guter Betriebsqualität zu ermöglichen. Da dieses zusätzliche Angebot die Attraktivität des Verkehrssystems Schiene steigert und teilweise schon Absichtserklärungen zur Bestellung dieser Leistungen vorliegen, wird das Konzept 3 in dieser Form empfohlen.

Nicht erreicht wird das in der Aufgabenstellung formulierte Ziel einer attraktiven Verbindung Basel – München über Lindau, da die Anschlusssituation in Lindau nicht optimiert werden kann, ohne dabei die wichtigeren Knoten Basel und Singen auszugeben.

Zusätzliche Infrastrukturverbesserungen, wie z.B. weitere zweigleisige Ausbaumaßnahmen, sind zwar wünschenswert und könnten die Betriebsqualität weiter steigern, der Nutzen ist aber im Verhältnis zu den hohen Kosten zu gering.

7.4. Abschätzung der Kapazitäten für den Güterverkehr

Einzig auf dem 14,5 Kilometer langen Streckenabschnitt Basel- Rheinfelden verkehren regelmäßig Güterzüge. Im Ist-Zustand fahren täglich bis zu 12 Güterzüge je Richtung mit der 290er Lok und durchschnittlich ca. 1000 Tonnen Last im Laufe des Tages auf diesem Abschnitt.[52] Im Folgenden soll untersucht werden, inwieweit dieser Güterverkehr mit den erarbeiteten Konzepten möglich ist. Dafür wird mit FBS ein Modellzug nach den obigen Angaben erstellt und die Anzahl der möglichen Trassen ermittelt. Die 290 ist mit einer Entwurfsgeschwindigkeit von 80 km/h und nur 809 kW eine schwache Güterzuglok.

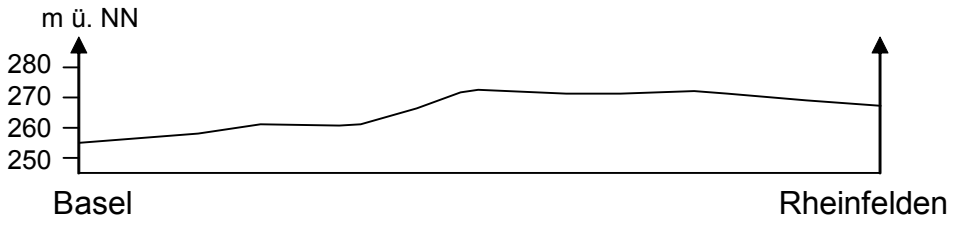

Abbildung 7-1: Höhenprofil im Abschnitt Basel – Rheinfelden

Wie Abbildung 7-1 verdeutlicht, steigt die Strecke Richtung Rheinfelden an. Dies führt dazu, dass die Fahrzeit des Modellgüterzuges in dieser Richtung mit 20 Minuten deutlich über dem der Rückrichtung mit 15 Minuten liegt. Somit wird die Richtung Basel – Rheinfelden maßgebend.

Die Kapazität für den Güterverkehr ist für die Konzepte 1 und 2 identisch. Die RB im ½-Stundentakt und der IRE im Stundentakt erlauben genau eine Trassenlage je Stunde, jeweils eine halbe Stunde versetzt zu den IRE zwischen den RB. Eine weitere Trasse zwischen IRE und RB ist theoretisch möglich, aber bereits kleinste Verspätungen würden dazu führen, dass der Güterzug den Personenverkehr behindert bzw. ein außerplanmäßiges Halt des Güterzuges notwenig wären, deren Folge lang andauernde Stauungen wären.

Beim Konzept 3 ist die Situation außerhalb der Spitzenstunden wie bei den anderen Konzepten. Während der Spitzenstunden, zu denen ein zusätzlicher RB verkehrt, ist die oben beschriebene stündliche freie Trasse nicht vorhanden. Trotzdem ist es aufgrund der schnelleren RB auch dann möglich, einen stündlichen Güterzug verkehren zu lassen, der allerdings einen planmäßigen Halt hätte.

[52] Informationen von Herrn Gaiser, DB Netz AG, Servicecenter Jahresplan

	Trassen für Modellzug 1 (290/1000t)		Trassen für Modellzug 2 (218/1000t)	
	ohne Halt	mit Halt	ohne Halt	mit Halt
Konzept 1	13	0	26	0
Konzept 2	13	0	26	0
Konzept 3	5	8	18	0

Tabelle 7-10: Empfohlene Maximalanzahl für den Güterverkehr zwischen 6 und 19 Uhr

Mit einer schnelleren Lok (z.B. 218) könnte die Kapazität auf 2 Güterzüge pro Stunde gesteigert werden. In den Spitzstunden des Konzeptes 3 wäre aber weiterhin nur ein Zug pro Stunde möglich, der planmäßige Halt könnte dabei entfallen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei allen Konzepten die heutige Güterzuganzahl bewältigt werden kann, beim Konzept 3 allerdings nur mit planmäßigen Halten. Dies würde aber – wie auch bereits heute – zu sehr hohen Belastungen des Streckenabschnittes Basel –Rheinfelden führen. Hier sind weitergehende Überlegungen notwendig, wie z.B. der viel diskutierte Hochrhein-Bypass oder die oben erwähnte Modernisierung der Lok.

7.5. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung

In den vorherigen Abschnitten wurden drei verschiedene Konzepte beschrieben, die alle gegenüber dem Ist-Zustand eine Verbesserung darstellen. Die Konzepte unterscheiden sich durch den Zeitraum, der bis zur Umsetzbarkeit vergeht. Während das kurzfristige Konzept bereits zum Fahrplanwechsel 2004/2005 umsetzt werden kann, kann das mittelfristige Konzept erst nach einer Umstellung der Fahrzeugflotte und dem Neubau von Haltepunkten in ca. drei Jahren verwendet werden. Das langfristige Konzept setzt große Infrastrukturmaßnahmen voraus, deren Planungs- und Bauzeit ca. fünf Jahre benötigen wird. Tabelle 7-11 fasst die wichtigsten Merkmale der Konzepte zusammen.

	Fahr-plansta-bilität	Beförde-rungs-zeit	An-schluss-situation	Ange-botsatt-raktivität	Infra-struktur [Mil. €]	Fahr-zeuge [Mil. €/a]
Ist-Zustand	--	100,0 %	+	o	0,0	6,25
Konzept 1	o	97,2%	-	o	0,0	5,91
Konzept 2	+	96,3%	o	o	2,5	5,03
Konzept 3	++	90,7%	+	++	215,5	5,19

Tabelle 7-11: Zusammenfassung der Konzepte, detaillierte Darstellung in Anlage 14

Eine schrittweise Umsetzung kann nicht empfohlen werden, da für das Konzept 2 die RB-Fahrzeugflotte modernisiert wird und diese dann für das Konzept 3 wegen der Elektrifizierung wiederum ausgetauscht werden müsste.

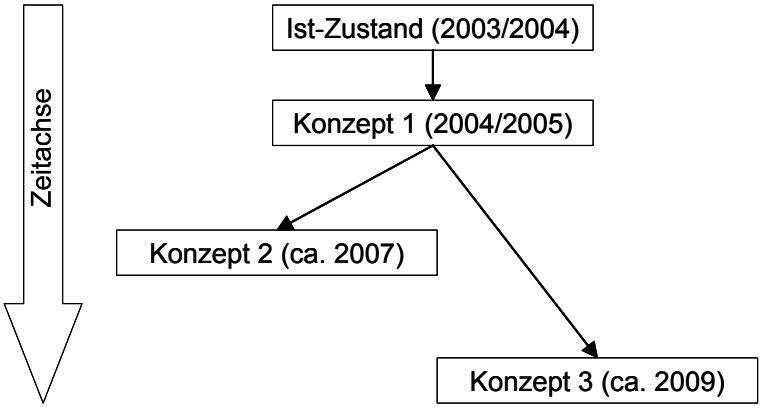

Abbildung 7-2: Zeitliche Einordnung der Konzepte

Wie die Abbildung 7-2 verdeutlicht, gibt es zwei mögliche Vorgehensweisen. Das Konzept 1 wird dabei in jedem Fall zum Fahrplanwechsel 2004/2005 eingeführt. Anschließend wird entweder das Konzept 2 mit vollständiger Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte oder das Konzept 3 mit einigen großen Infrastrukturmaßnahmen umgesetzt.

Abschließend wird dringend empfohlen, nach dem Konzept 1 das Konzept 3 umzusetzen. Nur so kann ein langfristig attraktives Angebot erreicht werden und trotz der Infrastrukturkosten von ca. 215 Millionen Euro am besten dem in 3.2.2 definierten Zielkatalog entsprochen werden.

8. Zusammenfassung und weiterer Untersuchungsbedarf

In dieser Arbeit wurden Ansätze für Verbesserungen der Regionalverkehrsstrecke Basel – Lindau erörtert.

Die Analyse des Ist- Zustands hat ergeben, dass die aktuelle Situation dem Kunden eine unzureichende Qualität bietet. Vor allem dies, aber auch die weiteren Nebenbedingungen (geänderte Planungsparameter des Infrastrukturbetreibers, geplante Steigerung des Angebots, Änderung der Knotenzeiten usw.) haben eine Neustrukturierung des Angebotes notwendig gemacht.

Dafür wurden verschiedene Infrastrukturmaßnahmen auf Nutzen und Kosten untersucht. Nachdem in den Jahren 1999-2002 durch die Neigetechnikertüchtigung der Strecke und zweigleisigen Ausbau zwischen Murg und Laufenburg mit dem Rappensteintunnel die Infrastruktur bereits deutlich verbessert werden konnte, zeigte sich in dieser Arbeit, dass vor allem der abschnittsweise zweigleisige Ausbau sowie eine Elektrifizierung der gesamten Strecke zu einer weiteren Steigerung der Attraktivität bei angemessenen Kosten führt. Die Untersuchung einer Neubaustrecke Meersburg Fähre hat dagegen ergeben, dass diese Maßnahme nahezu keinen verkehrlichen Nutzen erzeugt, dafür aber sehr hohe Kosten verursacht und damit nicht empfohlen werden kann.

Bei der Erarbeitung der Angebotskonzeption stand nach den schlechten Ergebnissen der Analyse der heutigen Verspätungssituation ein stabilerer Fahrplan und damit eine bessere Betriebsqualität im Vordergrund. Deshalb wurde mit höheren Fahrzeitzuschlägen und Puffern geplant. Des Weiteren wurde eine Verbesserung der Umlaufplanung und der Anschlusssituation angestrebt. Das letztere konnte allerdings nicht in allen Konzepten erreicht werden. Deshalb kann die angestrebte Verbesserung der Fernverkehrsverbindung Basel – München über Lindau nicht realisiert werden.

Für die Umsetzung der insgesamt drei Konzepte wurden zwei Handlungsstrategien entwickelt. Beiden ist das Konzept 1 gemeinsam, das kurzfristig das hohe Verspätungsniveau senken soll. Anschließend sollte das Konzept 2, in dessen Mittelpunkt eine Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte steht, oder das Konzept 3, für das erhebliche Infrastrukturinvestitionen notwendig sind, realisiert werden. Abschließend wurde eine eindeutige Empfehlung für die Variante Konzept 1+3 gegeben.

Die Fülle der behandelten Themen bei gleichzeitig begrenzter Bearbeitungszeit hat es an einigen Stellen erforderlich gemacht, Vereinfachungen und Annahmen in die Arbeit einfließen zu lassen. Zudem gibt es einige weitere Ansätze, die teilweise aus externen Planungen stammen. Daraus ergibt sich folgender vertiefter und weiterer Untersuchungsbedarf:

- Durch die Aufstellung eines Verkehrsmodells kann die Nachfrage von neuen Haltepunkten berechnet werden. Dies könnte zu anderen Ergebnissen als die der in dieser Arbeit durchgeführten Schätzungen führen und damit die Bewertung verändern.
- Die Infrastrukturkostenberechnung nach dem Kostenkennwertekatalog ist zwar eine zulässige Vereinfachung für eine Vorplanung, aber aufgrund der teilweise veralteten Einheitspreise eine Vereinfachung, die die Ergebnisse beeinflussen könnte.
- Bei der Angebotskonzeption wurde von einem Stundentakt der Südbahn Ulm – Lindau anstelle des heutigen 2-Stundentaktes ausgegangen. Inwieweit die Nachfrage diese Taktverdichtung rechtfertigt, wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht geprüft. Auch wenn Mehrleistungen grundsätzlich zu begrüßen sind, ist zu bedenken, dass bei Verzicht auf diesen Stundentakt und geschickter Fahrplankonstruktion eventuell ein teilweise zweigleisiger Ausbau zwischen Langenargen und Lindau anstatt des gesamten Abschnitts Friedrichshafen – Lindau ausreichend sein könnte.
- Durch genauere Untersuchung der Nachfrage könnte es möglich sein, Fahrzeugeinsparungen bei den IRE zu erreichen. Dies setzt zudem genaue Kenntnis der Abstellkapazitäten an den Bahnhöfen Basel, Singen und Lindau voraus.
- Eine Detailuntersuchung der Strecke auf Basis von Streckenplänen im Maßstab 1:1000 könnte weitere sinnvolle Infrastrukturmaßnahmen (z.B. Linienbegradigungen) ergeben, die zu Fahrzeiteinsparungen führen.
- Auf dem zweigleisigen Streckenabschnitt Basel – Waldshut ist die Strecke nicht für den Gleiswechselbetrieb (GWB) ausgestattet. Das Fahren gegen die gewöhnliche Fahrtrichtung ist dort heute nur mit dem signalisierten Falschfahrbetrieb möglich. Damit ist das Befahren auf dem linken („falschen“) Gleis nur in Ausnahmefällen (Unfall, Bauarbeiten) und nur mit reduzierter Geschwindigkeit erlaubt. Die Einrichtung von GWB, bei dem die Strecke sicherungstechnisch für den Zweirichtungsbetrieb ausgerüstet ist, würde die Leistungsfähigkeit und die Betriebsqualität bei Sperrung eines Gleises und anderen Ausnahmefällen erhöhen.

Trotz der erreichten Verbesserungen dürfen die Ergebnisse dieser Arbeit und weiterer Untersuchungen in den nächsten Jahren nicht als Endergebnis angesehen werden. Durch verschiedenste Entwicklungen wie z.B. neue Fahrzeuge, Nachfrageänderung, Signaltechnik oder Gesetzgebung (z.B. PKW-Straßenbenutzungsgebühren) muss das Angebot immer wieder angepasst und dabei nach Möglichkeit verbessert werden.

9. Verzeichnisse

9.1. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 2-1: Vereinfachte Darstellung der Höchstgeschwindigkeiten nach VzG [11] mit und ohne NeiTech; mit den Soll-Streckenstandards 2006; 1cm = ca. 17,5km .. 3
Abbildung 2-2: Lage im Netz 5
Abbildung 2-3: Ausschnitt aus der Bundesverkehrswegeplanung 2003; Quelle: [5] (angepasst) 6
Abbildung 3-1: Zusammensetzung der ÖV-Reisezeit; in Anlehnung an [34], S. 27 15
Abbildung 3-2: Vereinfachte Berechnung der ÖV-Reisezeit 15
Abbildung 3-3: Vergleich des Durchsatzes ohne und mit Bündelung 19
Abbildung 3-4: Funktionsweise ITF, eigene Darstellung in Anlehnung an [24], S. 199 21
Abbildung 4-1: Schematische Darstellung des aktuellen Zugangebotes; 1cm = ca. 15km 27
Abbildung 4-2: Detaillierte Untersuchung der Verspätungen an den Kontrollpunkten 35
Abbildung 5-1: Liniennetzplan der Regio-S-Bahn; Quelle: www.regio-s-bahn.de (angepasst) 40
Abbildung 5-2: Auszug aus der Belastung der IRE NeiTech 43
Abbildung 5-3: Ausgleichsfunktion zur Eliminierung der angebotsabhängigen Schwankungen 44
Abbildung 5-4: Tagesbelastung unterteilt nach Streckenabschnitt und Wochentag ... 44
Abbildung 6-1: Beförderungszeitvergleich RB auf ausgewählten Abschnitten 55
Abbildung 6-2: Beförderungszeitvergleich IRE auf ausgewählten Abschnitten 56
Abbildung 6-3: Abschnitt Überlingen – Friedrichshafen; 1 cm = ca. 1,5 km 58
Abbildung 7-1: Höhenprofil im Abschnitt Basel – Rheinfelden 78
Abbildung 7-2: Zeitliche Einordnung der Konzepte 80

Tabelle 3-1: Zielkatalog bei der Angebotsplanung 11
Tabelle 3-2: Überblick über Dieseltriebfahrzeuge; Quellen: [33], DE-Consult-Datenbank 24
Tabelle 3-3: Überblick über E-Triebfahrzeuge; Quellen: [33], DE-Consult-Datenbank25
Tabelle 4-1: Auswirkungen einer zweiminütigen Verspätung des IRE 3977 in Waldshut 30
Tabelle 4-2: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 3971 in Rheinfelden..... 30
Tabelle 4-3: Verketteter Belegungsgrad in der Spitzenstunde 32
Tabelle 4-4: Anzahl untersuchter IRE pro Tag 34
Tabelle 4-5: Anteil der verspäteten IRE..... 35
Tabelle 4-6: Verspätungsursachen..... 36
Tabelle 4-7: Orte des Auftretens von Zugfolgeverspätungen..... 37
Tabelle 4-8: Schwachstellen des Ist-Zustandes mit Lösungsansätzen 38
Tabelle 5-1: Übergangszeiten an den Knotenbahnhöfen 42
Tabelle 5-2: Belastungszahlen Spitzenstunde (jeweils Maximalwert Mo-Fr der Abschnitte)..... 45
Tabelle 6-1: Kosten des zweigleisigen Ausbaus 47
Tabelle 6-2: Auswirkungen auf die Fahrzeit; Berechnung aus [13], Anhang III-2, S. 948
Tabelle 6-3: Kosten der untersuchten Varianten; Quelle: [13], S. 37 49
Tabelle 6-4: Übersicht über mögliche neue Haltepunkte..... 52
Tabelle 6-5: Vor- und Nachteile der Elektrifizierung; Quelle: [2]..... 54
Tabelle 6-6: Beförderungszeiten mit verschiedenen RB-Fahrzeugen auf der Gesamtstrecke..... 55
Tabelle 6-7: Kosten der Elektrifizierung..... 56
Tabelle 6-8: Kostenschätzung für die NBS Meersburg 61
Tabelle 6-9: Fahrzeiten der untersuchten Varianten (Nussdorf – F'hafen Landratsamt) 62
Tabelle 6-10: Vergleich von Kosten zur Fahrzeitgewinn 63
Tabelle 7-1: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 1001 in Rheinfelden..... 66
Tabelle 7-2: Bewertung der Anschlusssituation beim Konzept 1 im Vergleich zum Ist-Zustand..... 67
Tabelle 7-3: Fahrzeugkosten im Konzept 1 68
Tabelle 7-4: Infrastrukturkostenübersicht für das Konzept 2 70
Tabelle 7-5: Fahrzeugkosten im Konzept 2 70
Tabelle 7-6: Verketteter Belegungsgrad in der Spitzenstunde (Konzept 2) 74
Tabelle 7-7: Folgeverspätungen durch achtminütige Verspätung des IRE 1001 in Rheinfelden..... 75
Tabelle 7-8: Infrastrukturkostenübersicht für das Konzept 3 76
Tabelle 7-9: Fahrzeugkosten im Konzept 3 76
Tabelle 7-10: Empfohlene Maximalanzahl für den Güterverkehr zwischen 6 und 19 Uhr 79
Tabelle 7-11: Zusammenfassung der Konzepte, detaillierte Darstellung in Anlage 1480

9.2. Verzeichnis der im Anhang abgedruckten Anlagen

Anlage 1: Geografische Übersichten über die Strecke Basel – Lindau
Anlage 2: Knotenzeiten der Strecke Basel – Lindau (Netzgrafik): Ist-Zustand
Anlage 3: Untersuchung des „schnellen System“ im Ist-Zustand
Anlage 4: Untersuchung der Fahrplanstabilität im Ist-Zustand
Anlage 5: Ermittlung des verketteten Belegungsgrades
Anlage 6: Auswertungen der Tagesnachweise des IRE NeiTech
Anlage 7: Auswertungen der Belastungszahlen (RES-Daten)
Anlage 8: Knotenzeiten: Ausgangslage für Angebotserstellung
Anlage 9: Unterlagen zur NBS Meersburg
Anlage 10: Kostenschätzungen
Anlage 11: Fahrplanunterlagen, Umlaufplanungen und weitere Dokumente zum Konzept 1: Kurzfristige Verspätungsvermeidung
Anlage 12: Fahrplanunterlagen, Umlaufplanungen und weitere Dokumente zum Konzept 2: Mittelfristige Modernisierung der RB-Fahrzeugflotte
Anlage 13: Fahrplanunterlagen, Umlaufplanungen und weitere Dokumente zum Konzept 3: Langfristiges Konzept
Anlage 14: Detaillierter Vergleich der Konzepte (nach Zielkatalog)

Eine detaillierte Übersicht der Anlagen ist in Anlagenteil zu finden.

9.3. Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen

ABS.....Ausbaustrecke
BAST .....Betriebliche Aufgabenstellung
BOB .....Bodensee-Oberschwaben-Bahn
Bf. .....Bahnhof
Bstg.....Bahnsteig
CIS.....CisAlpino
D .....Schnellzug
DB AG.....Deutsche Bahn AG
EBO .....Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EC.....EuroCity
EIU.....Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EVU .....Eisenbahnverkehrsunternehmen
FBS.....Fahrplanbearbeitungssystem
FPL .....Bildfahrplanprogramm
Gl. .....Gleis
GWB .....Gleiswechselbetrieb
Hp. .....Haltepunkt
IC .....InterCity
IRE.....InterRegioExpress
ITF .....Integraler Taktfahrplan
IV .....Individualverkehr
KBS.....Kursbuchseite
NBS .....Neubaustrecke
LST .....Leit- und Sicherungstechnik
NL .....Niederlassung
NVBW.....Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg
ÖPNV.....Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV.....Öffentlicher Verkehr
R .....Regionalzug bei der SBB
RB.....Regionalbahn (als Abkürzung der RB – männlich)
RE.....Regionalexpress
RES .....Reisendenerfassungssystem
SBB.....Schweizerische Bundesbahn
SPFV .....Schienenpersonenfernverkehr
SPNV.....Schienenpersonennahverkehr
VT .....Verbrennungstriebzug
VzG.....Verzeichnis der zugelassenen Geschwindigkeiten

β_j .....Neigungswinkel der gleisbogenabhängigen Wagenkastensteuerung [°]
B_M .....Mittlere Bedienungshäufigkeit
$B_{Gesamttag}$.....Bedienungshäufigkeit am Gesamttag
$B_{Spitzenstunde}$ .....Bedienungshäufigkeit in der Spitzenstunde
$\eta_{Bündelung}$ .....Grad der Bündelung
$\eta_{verkettet}$.....Verketteter Belegungsgrad
$n_{Merkmal}$.....Anzahl der Elemente mit dem angegeben Merkmal
r.....Kreisbogenradius [m]
T.....Gesamtreisezeit
$t_{Aktivität}$ .....Zeit zum Durchführen der jeweiligen Aktivität
$t_{FF,m}$ .....Mittlere Fahrtenfolgezeit
t_K .....Kantenzeit
t_{SP}.....Verkettete Streckenpuffzeit
t_{SS}.....Verkettete Streckensperrzeit
t_T .....Taktzeit des ITF
t_{UZ}.....Untersuchungszeitraum
$t_{Zf,min}$ .....Mindestzugfolgezeit
u.....Überhöhung [mm]
u_f .....Überhöhungsfehlbetrag [mm]
v_{max} .....Zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]

9.4. Quellenverzeichnis

Hinweis zu den Quellen aus dem Internet:

Viele der dort genannten Quellen gibt es neben den Online-Version auch in gedruckter Form und können im Buchhandel oder beim jeweiligen Bestellservice geordert werden, z.B.:

- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen:
  http://www.bmvbw.de/.Bestellservice-.370.htm
- Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg (Rail&Relax):
  http://www.railandrelax.de (Anfragen über Kontakt)

[1] Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG), letzte Änderung am 12.12.2003
Z.B. im Internet verfügbar unter
http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/ref11/s_11_aeg.htm

[2] Baldié, René
Elektrifizierung und Verdieselung der Französischen Eisenbahnen, 1958

[3] Bayrische Eisenbahngesellschaft beg
Bayern-Takt – Fachinformation, 1998

[4] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Anti-Stau-Programm 1998
Im Internet verfügbar unter http://www.bmvbw.de/Anti-Stau-Programm-.591.htm

[5] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Bundesverkehrswegeplan 2003
Im Internet verfügbar unter
http://www.bmvbw.de/Bundesverkehrswegeplan-.806.htm

[6] DB AG
Internetauftritt der Deutschen Bahn AG unter http://www.bahn.de

[7] DB Netz AG
Konzernrichtlinie 402: Trassenmanagement, 2003

[8] DB Netz AG
Konzernrichtlinie 405: Fahrwegkapazität, 2002

[9] DB Netz AG
Konzernrichtlinie 420: Betriebszentralen DB Netz AG, 2003

[10] DB Netz AG
Konzernrichtlinie 808.0212; Kostenkennwertekatalog mit den Kostenrichtwerten Stand 1998; 2002

[11] DB Netz AG
Verzeichnis der zugelassenen Geschwindigkeiten, NL Südwest, Stand 2003

[12] DB Reise&Touristik AG; DB Regio AG Region Baden-Württemberg; DB Regio AG Region RheinNeckar
Kursbuch Regionalverbindungen Baden-Württemberg, 2003

[13] DE-Consult im Auftrag von DB Netz AG
Vertiefung BAST Netz 21, Korridor 602-Südbahn, Zweigleisiger Ausbau Friedrichshafen – Lindau, 2002

[14] DE-Consult im Auftrag von DB AG, Geschäftsbereich Nahverkehr
Untersuchung der Strecke Heilbronn – Würzburg, 1998

[15] Dilli, Gustav
„Ihre Majestät, die Toleranz“ in Eisenbahntechnische Rundschau 1+2/1952, S. 21-28 und S. 60-68

[16] Eisenbahn-Revue Redaktion (fla)
„BR 611 – Pannenzug oder Phoenix aus der Asche?“ in Eisenbahn-Revue International 8-9/2003, S. 348

[17] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan, 2001

[18] Gille, Andreas
Urverspätungen im Eisenbahnbetrieb, 2003

[19] iRFP Institut für Regional- und Fernverkehrsplanung
Fahrplanbearbeitungssystem FBS – Anleitung, Dezember 2000

[20] Kannengießer, Fred und Wicke, Bodo
„Einfluss der Fahrzeitzuschläge und Pufferzeiten auf die Pünktlichkeit“ in Die Bundesbahn 11/1987, S. 42-46

[21] Matthews, Volker
Bahnbau, 2002

[22] Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz
Rheinlandpfalz-Takt 1999

[23] Nahverkehrsgesellschaft Baden-Württemberg
Rail&Relax Streckenübersicht, 2003
Im Internet verfügbar unter http://www.rail-and-relax.de

[24] Pachl, Jörn
Systemtechnik des Schienenverkehrs, 3. Auflage 2002

[25] Potthoff, Gerhard
Die Bedienungstheorie im Verkehrswesen, 1969

[26] Potthoff, Gerhard
Verkehrsströmungslehre Band 4, 1972

[27] Schiemann, Wolfgang
Schienenverkehrstechnik, Grundlagen der Gleistrassierung, 2002

[28] Schmid, Volker
Reaktivierte Nebenbahnen und alternative Buskonzepte, Vergleich von ökologischen Wirkungen, 2003

[29] Schwanhäuser, Wulf
Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn, 1974

[30] Schwanhäuser, Wulf
„Die Häufigkeit reiner Kreuzungsaufenthalte als Maßstab der Betriebsqualität auf eingleisigen Strecken“ in Eisenbahntechnische Rundschau 5/1975

[31] Schweers und Wall,
Eisenbahnatlas Deutschland 2000

[32] Statistische Bundesamt Deutschland
Suche im Gemeindeverzeichnis, Stand 2000; online verfügbar unter http://www.destatis.de/gv/suche_gv2000.htm

[33] Verband deutscher Verkehrsunternehmen – VDV Förderkreis e.V.
Regionaler Schienenpersonennahverkehr – Neue Fahrzeuge und der Einsatzfelder, 1998

[34] Verkehrswissenschaftliche Institut an der Universität Stuttgart und Intraplan Consult GmbH
Verfahrensanleitung Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des ÖPNV und Folgekostenrechnung, 2000

9.5. Stichwortverzeichnis

Angebotsplanung 9
Bahnsteigwende 37
Bauzuschlag 8, 41
Belegungsgrad 12
Bildfahrplan 27
Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung 58
Elektrifizierung 41, 53, 57, 71, 77
Fahrplanbearbeitungssystem 27
Fahrplanstabilität 29, 66, 75
Fahrtenfolgezeit 17
Fahrzeit 54, 61
Fahrzeitzuschlag 65
Fahrzeuge 24
Folgeverspätung 34
Geschwindigkeitsschere 38
Gleiswechselbetrieb 82
Güterverkehr 78
Haltestellenabstand 56
Häufigkeit 17
Integraler Taktfahrplan 20, 39
ITF-Knoten 21
Kantengleichung 21
Kloster Birnau 51
Knotenbahnhof 4
Knotenzeiten 10
Kostenkennwertekatalog 49, 82
Kostenschätzung 61
Kreisgleichung 22
Kreuzungsaufenthalt 29, 65
Kursbuch 28
Leistungsfähigkeit 12
Mindestzugfolgezeit 13
Nachfragepotenzial 53
Neigetechnik 4, 59
Netzgrafik 4, 39
Pufferzeit 8, 64
Pünktlichkeit 10, 11, 35
Regelmäßigkeit 17
Regelzuschlag 8, 16, 28
Regio-S-Bahn 40, 50
Reisezeit 15, 67
RES-Daten 42
Schnelles System 29, 64, 71
Seehäsle 26, 39, 73
Simulation 12
Staueffekt 34
Streckenverlauf 3
Symmetriezeit 22
Tagesnachweis 65
Taktzeit 22
Trassenmanagement 9
Übergangszeit 41
Umlaufplan 65
Umsteigebeziehungen 4
Umweltschutz 10, 54
Unterlegtes System 26, 30, 65, 72
Verbrennungstriebzug 24
Verkehrshaltezeit 28
Verketteter Belegungsgrad ... 12, 31, 33, 66, 69, 74
Verspätung 34
Vertaktung 17
VzG 3, 28
Wendezeit 26, 65
Wirtschaftlichkeit 10, 11, 20, 54
Zielkatalog 9, 11
Zugfolge 36
Zweigleisiger Ausbau 46