

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

MASTER'S THESIS

**Entwurf eines Taktfahrplans für das
Eisenbahnnetz in
Bosnien und Herzegowina**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-
Ingenieurin unter der Leitung von

Proj. Ass. Priv. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Schöbel

am

E230 - Institut für Verkehrswissenschaften

Forschungsbereich für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen

Fakultät für Bauingenieurwesen,

von

Dženet Ljevo

E610 / e0326213

Brestelgasse 12/10; 1160 Wien

Wien, Jänner 2012

.....
(Dženet Ljevo)

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht an alle, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders möchte ich mich Herrn Proj. Ass. Priv. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Schöbel bedanken, der mich während meiner Diplomarbeit betreut und umfangreich unterstützt hat.

Weiteres möchte ich mich beim Herrn Prof.dr. Relja Jovanović bedanken, der mir alle nötigen Kontakte für die Ausarbeitung meiner Diplomarbeit ermöglicht hat.

Ich danke auch herzlich Herrn Dipl.-Ing. Hamdija Šaljic, der mir den Zugriff auf die benötigten Informationen und Daten über das Eisenbahnnetz und den Eisenbahnbetrieb in Bosnien und Herzegowina ermöglicht hat.

Zudem möchte ich meinem Bruder, Ramon Ljevo, und meinem Freund, Adnan Sulić, danken die mir während meines gesamten Studiums eine moralische Unterstützung waren.

Meine Diplomarbeit möchte ich meinen Eltern Senada und Ramo Ljevo widmen, die mir nicht nur das Studium ermöglicht haben, sondern auch großes Interesse für meine Arbeit zeigten, und mich immer unterstützten.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei all meinen Freunden und all denen bedanken, die hier nicht speziell angeführt sind, die aber während meines Studiums immer eine Hilfe waren.

Kurzfassung

Entwurf eines Taktfahrplanes für das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina

Den Fahrplan, in dem alle Züge eines Eisenbahnnetzes in regelmäßigen, sich periodisch wiederholenden Intervallen in einer vorgegebenen Taktzeit betrieben werden, nennt man Taktfahrplan. Um einen Taktfahrplan einführen zu können, müssen in einem bestehenden Netz zumindest die folgenden Voraussetzungen erfüllt werden.

Den Zügen muss das gleichzeitige Ein- und Ausfahren sowohl in den Bahnhofbereichen als auch in den Taktkreuzungen ermöglicht werden. Die Infrastruktur sollte an diesen Betriebsstellen genau so viele Gleise aufweisen wie Zulaufstrecken vorhanden sind. Um einen taktfreundlichen Fahrplan aufstellen zu können, sollte außerdem ein signifikanter Unterschied der Geschwindigkeiten in den Fahrzeiten der verschiedenen Zugskategorien vorhanden sein.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden verschiedenen Varianten des Taktfahrplanes untersucht. Mithilfe des Programmes „OpenTrack“ wurden abschnittsweise verschiedene Zugfahrten simuliert und daraus Taktfahrpläne für das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina ausgearbeitet und bewertet.

Als Ergebnis zeigte sich, dass sich der Zweistundentakt für alle einspurigen Strecken des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina am besten bewährte, da kein Geschwindigkeitsunterschied in den Fahrzeiten der Züge vorhanden war.

Zum Abschluss wurden alle Teilergebnisse tabellarisch zusammengefasst und in einer Netzkarte die Voll und Halbknoten graphisch dargestellt.

Abstract

Design of an integrated timetable for the railways in Bosnia and Herzegovina

The timetable in which all trains of a railway network operate in regular, periodically recurring intervals, in a given cycle time, is called integrated timetable. To implement an integrated timetable in an existing network at least following conditions have to be met.

The equipment of the rolling stock (the trains) must at the same time be allowed to entry and to departure a Station and an intersection. At these operation points the infrastructure should offer exactly so many tracks as railway lines at these present railway line available are. For the arranging of a customer friendly timetable a significant difference in the velocities of the basic running time for the different trains must exist.

Within the framework of this diploma thesis different variants of the interval timetable were analyzed. Using the Software "OpenTrack" different train runs were simulated and from these integrated timetables for the railway in Bosnia and Herzegovina developed and evaluated.

The results show that the two hour interval proved to be the best solution for the single track sections in the railway network of Bosnia and Herzegovina. This can be explained by the fact that there is no difference between the velocities of the basic running time for the different trains.

Finally all partial result have been summarized and displayed in a network map.

Kratki sažetak

Koncept reda vožnje po taktu za Željezničku mrežu Bosne i Hercegovine

Red vožnje po taktu predstavlja vozni red u kojem svi vozovi jedne mreže voze u redovnim-periodičnim intervalima po zadatom taktu. Da bi se red vožnje po taktu mogao implementirati na postojeću mrežu moraju biti zadovoljene sljedeće pretpostavke.

Vozovima moraju biti omogućeni istovremeni ulazi i izlazi kako u područjima željezničkih stanica tako i u područjima taktnih raskrsnica. Infrastruktura na ovim saobraćajnim područjima mora posjedovati tačno onoliko kolosijeka koliko ima dolazećih vozni linija.

Da bi se za korisnike željezničkog saobraćaja mogao uspostaviti adekvatan red vožnje po taktu mora postojati značajna razlika između brzine vozova različitih kategorija.

U okviru ovog diplomskog rada analizirane su različite varijante reda vožnje po taktu. Prvo su pomoću programa „Opentrack“ simulirane različite vožnje vozova pojedinačnih dijelova željezničke mreže, te su na osnovu toga izađeni vozni redovi po taktu za željezničku mrežu Bosne i Hercegovine. Zbog nepostojanja razlika u brzinama vozova različitih kategorija, ovo istraživanje je pokazalo da je dvosatni takt najpogodniji za sve jednokolosječne dionice željezničke mreže u Bosni i Hercegovini.

Dobiveni rezultati svih ispitivanih dionica prikazani su tabelarno i grafički predstavljani na mrežnoj karti.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	8
2. DIE EISENBAHN IN BOSNIEN UND HERZEGOWINA	9
2.1 Die Geschichte der Eisenbahn in Bosnien und Herzegowina [2], [3]	9
2.2 Struktur und Aufbau der Eisenbahngesellschaft in Bosnien und Herzegowina [6].....	11
2.3 Das derzeitige Netz der Eisenbahn in Bosnien und Herzegowina [6]	13
2.4 Das Rollmaterial der bosnischen Eisenbahn [6]	16
2.4.1 Die Lokomotiven der Eisenbahngesellschaft der Föderation BiH	16
2.4.2 Die Lokomotiven der Eisenbahngesellschaft Republika Srpska	19
2.4.3 Triebwagen.....	19
3. METHODISCHES ZUM TAKTFAHRPLAN	20
3.1 Allgemeines	20
3.1.1 Der Fahrplan	20
3.1.2 Der Taktfahrplan	21
3.2 Anforderungen an die Infrastruktur	23
3.3 Methode	24
3.4 Fahrzeitanteile im Fahrplan	26
3.4.1 Technische Fahrzeit	26
3.4.2 Fahrzeitreserve	28
3.4.3 Haltezeit	28
4. ANWENDUNG DES TAKTFAHRPLANS BEI DER EISENBAHN IN BOSNIEN UND HERZEGOWINA	30
4.1 Infrastrukturabschnitt Sarajevo - Čapljina	31
4.2 Infrastrukturabschnitt Sarajevo-Zenica	34

4.3	Infrastrukturabschnitt Zenica-Doboj.....	37
4.4	Infrastrukturabschnitt Doboj-Tuzla.....	40
4.5	Infrastrukturabschnitt Doboj-Bosanski Šamac.....	43
4.6	Infrastrukturabschnitt Doboj-Banja Luka.....	46
4.7	Infrastrukturabschnitt Banja Luka- Dobrljin.....	49
4.8	Infrastrukturabschnitt Bosanski Novi- Bihać.....	52
4.9	Zusammenführung der Teilergebnisse.....	55
4.10	Vorschläge zur Verbesserung.....	56
5.	ZUSAMMENFASSUNG	58
	LITERATURVERZEICHNIS	59
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	60
	TABELLENVERZEICHNIS	62
	ANHANG A	LXIII

1. EINLEITUNG

Der Taktfahrplan beschreibt einen Fahrplan in welchem alle Züge eines Eisenbahnnetzes in regelmäßigen, sich periodisch wiederholenden Intervallen in einer vorgegebenen Taktzeit betrieben werden. Um die Erstellung eines Taktfahrplanes gewährleisten zu können, müssen die im Netz aus beiden Richtungen verkehrenden Züge eine gleiche Taktzeit aufweisen. Außerdem sollte in den Bahnhofsbereichen und den Taktkreuzungen das gleichzeitige Ein- und Ausfahren der Züge ermöglicht werden. Dies impliziert das genau so viele Gleise zur Verfügung stehen müssen wie Eisenbahnverbindungen auf der Strecke vorhanden sind. Hierbei soll auch erwähnt werden, dass für einen taktfreundlichen Fahrplan ein signifikanter Unterschied in den Fahrzeiten, der auf der Strecke verkehrenden Zügen, nötig ist.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist einen Entwurf eines Taktfahrplanes für das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina auszuarbeiten. Das Eisenbahnnetz sowie die Eisenbahninfrastruktur von Bosnien und Herzegowina werden näher im Kapitel 2 beschrieben.

Mithilfe einer Simulation im Programm „OpenTrack“ wurden Abschnittsweise Zugfahrten verschiedener Züge, Schnellzüge und Regionalzüge, simuliert. Die Optimierung der errechneten Fahrzeiten lieferte die Entwürfe der Taktfahrpläne für die jeweiligen Eisenbahnabschnitte. Die einzelnen Infrastrukturabschnitte des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina werden im Anhang A veranschaulicht.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden drei unterschiedliche Varianten für die Aufstellung eines Taktfahrplanes im Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina untersucht. Diese sind der Einstudentakt, der Halbstudentakt und der Zweistudentakt.

Die Entwürfe der Taktfahrpläne der einzelnen Abschnitte des Eisenbahnnetzes werden im Kapitel 4 dargestellt. Anschließend werden alle Teilergebnisse zusammengefasst und die nötigen Verbesserungen je Streckenabschnitt erläutert.

2. DIE EISENBAHN IN BOSNIEN UND HERZEGOWINA

2.1 Die Geschichte der Eisenbahn in Bosnien und Herzegowina [2], [3]

Die erste Eisenbahnstrecke in Bosnien und Herzegowina von Banja Luka nach Dobrljin (101,6 km) wurde am 24. Dez. 1872 für den Verkehr freigegeben. Diese normalspurige Strecke wurde vom Osmanischen Reich errichtet und hatte den Zweck Konstantinopel (heutiges Istanbul) mit Wien zu verbinden. Der Betrieb dieser Eisenbahnstrecke wurde aber wegen der ablehnenden Haltung der ungarischen Regierung sowie der Unruhen in Bosnien und Herzegowina im Jahr 1875 eingestellt.

Im Jahre 1878 wurde Bosnien und Herzegowina gemäß den Bestimmungen des „Berliner Kongress“ der Österreichisch-Ungarischen Monarchie zugeordnet. Kurz danach folgte ein intensiver Bau der Eisenbahnstrecken. Die Instandsetzung und Rekonstruktion der stillgelegten Eisenbahnstrecke von Banja Luka nach Dobrljin wurde schon vor der Annexion geplant. Die ganze Strecke konnte am 24. März 1879 wieder in Betrieb genommen werden sodass die Strecke schon Ende 1879 auch der zivilen Bevölkerung zur Verfügung stand. Außer dieser Normalspurigen Strecke wurde noch eine weitere jedoch viel kürzere gebaut und zwar die Verbindungsstrecke von Slavonski Brod nach Bosanski Brod. Diese 3.483 m lange Strecke hatte strategisch und verkehrspolitisch eine große Bedeutung da sie den Anschluss an das Bahnnetz der Monarchie darstellte

Der Ausbau des Eisenbahnnetzes durch die Österreichisch-Ungarische Monarchie in Bosnien und Herzegowina war primär militärisch geprägt. Im September 1878 begann der Bau der Schmalspurstrecke von Bosanski Brod nach Sarajevo. Die Entscheidung zugunsten einer Schmalspurstrecke entstand wegen des Zwanges zum schnellen Baufortschritt, der bei der Verbindung wichtiger militärischer Operationen zum Zeitpunkt der Annexion von großer Bedeutung.

Der erste Teilabschnitt der Eisenbahnstrecke Bosanski Brod-Sarajevo der bis nach Doboј verlief wurde am 12. Februar 1879, der zweite Abschnitt bis Žepce am 22. April 1879 und der dritte Abschnitt bis nach Zenica am 5. Juni 1879 fertiggestellt. Die

endgültige Fertigstellung der ganzen Trasse, mit normalspurigem Untergrund und einer Gesamtlänge von 270.117 km, erfolgte am 5. Oktober 1882.

Die Eisenbahnstrecke Doboj-Šimin Han wurde als Abzweigung der Eisenbahnstrecke Sarajevo-Doboj entlang des Flusses Spreča am 26. April 1886 eröffnet. Die Länge dieser Strecke betrug 66,7 km und diente dem Export von Kohle und Salz aus dem Tuzla Becken.

Der nächste wichtige Abschnitt des Ausbaus des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina stellte die Schaffung einer Eisenbahnverbindung von Sarajevo nach Mostar und weiter die Verbindung zum Hafen Metković. Der Teilabschnitt Metković-Mostar von 42 km wurde im Jahre 1885, der Teilabschnitt Mostar-Ostrožac von 66 km im Jahre 1888, der Teilabschnitt Ostrožac-Konjic von 13 km im Jahre 1889 und der letzte und topographisch schwierigste Teilabschnitt Konjic-Sarajevo von 56 km im Jahre 1891 abgeschlossen. Der Zweck dieser Bahnstrecke stellte einerseits die Erschließung der ökonomischen Ressourcen der isolierten Herzegowina und andererseits die Schaffung einer Hauptverkehrsline durch das annektierte Gebiet.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über weitere in Bosnien und Herzegowina gebauten Eisenbahnstrecken:

Tabelle 1: Eisenbahnabschnitte die zwischen 1885-1942 fertiggestellt wurden

Infrastrukturabschnitt	Fertigstellung
Donji Vakuf-Jajce	1. Maj 1885
Lašva-Trvnik	26. Oktober 1893
Travnik-Bugojno	14. Oktober 1893
Gabela-Zelnik Gornji Vakuf-Gruz Hum-Trebinje	16. und 17. Juni 1901
Sarajevo-Udac Međeđa-Vardište	4. Juli 1906
Bosanski Novi- Bosanska Krupa	4. Oktober 1920
Bosanka Krupa-Bihać	4. Oktober 1924
Bosanska Rača-Bijeljina Bijeljina-Ugljevik Trebinje-Bileća Pazarić-Tarčin	1918-1942

Den Zeitraum nach dem zweiten Weltkrieg charakterisiert der Bau der normalspurigen „Jugend Eisenbahnen“ zwischen Brčko und Banovići mit einer Länge von 89 km und die Verbindung Bosanski Šamac-Sarajevo mit einer Länge von 238 km. Die erste Strecke wurde am 7. November 1946 und die zweite am 15. November 1947 für den Verkehr freigegeben. In den Jahren zwischen 1966 und 1978 folgte die Einstellung aller schmalspurigen Eisenbahnstrecken in Bosnien und Herzegowina.

Die Elektrifizierung der Eisenbahnstrecke von Sarajevo nach Ploče folgte bereits im Jahre 1969. Die Periode zwischen 1969 - 1992 stellte zum einen den Zeitraum der Elektrifizierung der Eisenbahnstrecken in Bosnien und Herzegowina dar und zum anderen die Einführung neuer Technologien wie z.B. die Einrichtung der Fernsteuerungszentralen in Doboj, Rajlovac und Bosanski Novi. Die Einführung der Fernsteuerung der Antriebe und des Eisenbahnverkehrs hatten in der Eisenbahnverkehrsabwicklung eine Erhöhung der Sicherheit zur Folge.

Das Verkehrswesen allgemein und somit auch die Eisenbahnen von Bosnien und Herzegowina haben im letzten Balkan Krieg 1992-1995 sehr große Verluste erlitten. Sowohl das Rollmaterial als auch die Infrastruktur wurden in der Aggression zerstört. Die Revitalisierungs- und Erneuerungsprogramme werden mit Hilfe der Republik Bosnien und Herzegowina, der Föderation von Bosnien und Herzegowina und der internationalen Gemeinschaft realisiert. Die Eisenbahnstrecken, die Brücken und das Kontaktnetz wurden erneuert und der Eisenbahnverkehr im ganzen Land wieder aufgenommen.

2.2 Struktur und Aufbau der Eisenbahngesellschaft in Bosnien und Herzegowina [6]

Mit Unterzeichnung des Friedensvertrages von Dayton in Paris am 14. Dezember 1995 wurde Bosnien und Herzegowina in zwei Entitäten, Föderation von Bosnien und Herzegowina und Republika Srpska, und Distrikt Brčko geteilt.

Derzeit wird der gesamte Verkehr in Bosnien und Herzegowina einerseits auf Landes- und andererseits auf Entitätsebene durch getrennte Ministerien für Verkehr und Kommunikation (Ministerium für Verkehr und Kommunikation der Republika Srpska und Ministerium für Verkehr und Kommunikation der Föderation von Bosnien und

Herzegowina) verwaltet. 2003 wurde das Ministerium für Verkehr und Kommunikation auf Landesebene gegründet dessen Amtsbereich den ganzen Bereich des Verkehrs und der Kommunikation abdeckt.

Der Eisenbahnverkehr in Bosnien und Herzegowina wird durch zwei Eisenbahngesellschaften abgewickelt. Diese sind:

- (1) Die Eisenbahngesellschaft der Föderation von Bosnien und Herzegowina – Željeznice Federacije Bosne i Hercegovine (ŽFBiH)
- (2) Die Eisenbahngesellschaft der Republika Srpska – Željeznice Republike Srpske (ŽRS)

Beide Eisenbahngesellschaften sind Mitglieder der „Union Internationale de Chemins de Fer“ (UIC).

Die beiden Entitäten, Föderation von Bosnien und Herzegowina und Republika Srpska, haben außerdem unter dem Namen „Bosanskohercegovačka željeznička javna korporacija“ – BHŽJK (Öffentliche Korporation der Eisenbahnen in Bosnien und Herzegowina) eine gemeinsame öffentliche Körperschaft gegründet. Diese fungiert als eine Koordinationskörperschaft auf Staatsebene und handelt im beidseitigen Interesse.

Auf der folgenden Abbildung werden die Zusammenhänge der Eisenbahngesellschaften in Bosnien und Herzegowina auf entitätischer und staatlicher Ebene dargestellt:

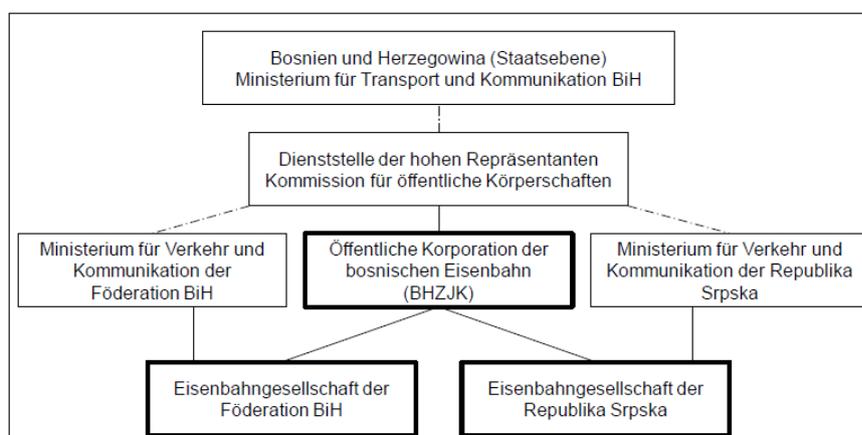


Abbildung 1: Grundstruktur der Eisenbahngesellschaften in Bosnien und Herzegowina [6]

2.3 Das derzeitige Netz der Eisenbahn in Bosnien und Herzegowina [6]

Das heutige Netz der bosnischen Eisenbahn weist zwei Eisenbahnhauptstrecken auf:

- (1) Gesamteuropäischer Korridor Vc:
(Hafen Ploče-) Čapljina - Mostar - Sarajevo - Maglaj - Doboj - Modica - Šamac
→ Kroatien – Ungarn
- (2) Die parallele des Korridor X:
(Zagreb-) Dobriljin - Novi Grad - Prijedor - Banja Luka - Doboj - Lukavac -
Bosanka Poljana - Živinice – Zvornik → Serbien

Diese zwei Haupteisenbahnlinien des Landes bieten Verbindungen sowohl für Zentral-, Mittelmeer- und Südosteuropa als auch für die Anliegerstaaten Serbien, Montenegro und Kroatien.

Eine weitere wichtige Eisenbahnverbindung stellt die sogenannte Unalinie dar. Diese erstreckt sich von Zagreb nach Split (Kroatien) über Dobriljin-Novi Grad-Bihać und Račić.

Neben diesen Haupteisenbahnverkehrsstrecken gibt es weitere Nebenstrecken die entweder an den Korridor Vc oder Korridor X anschließen.

Diese sind:

- (1) Tuzla-Banovići (wird mit der parallele des Korridors X verbunden)
- (2) Tuzla-Brčko →Kroatien (Vinkovci, Koridor X): Die Strecke verbindet einerseits die Kroatische Grenze und andererseits den Flusshafen in Brčko
- (3) Bijeljina-Velino Selo →Serbien (Šid): Die Strecke schließt an den Korridor X an.
- (4) Modriča-Gradačac: Abzweigung des Korridors Vc
- (5) Podlugovi-Dreškovac: Abzweigung des Korridors Vc
- (6) Prijedor-Ljubica: Abzweigung des Korridors X
- (7) Omarska-Tomašica: Abzweigung des Korridors X

Das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina weist eine Gesamtlänge von 1031 km auf, davon sind

- (1) 587,150 (57%) km in der Föderation von Bosnien und Herzegowina
- (2) 416,949 (40,4%) km in der Republika Srpska
- (3) 26,901 (2,6%) km in Distrikt Brčko.

In der Föderation von Bosnien und Herzegowina sind 441 km und in der Republika Srpska 358 km des Netzes elektrifiziert. Nur 87 km des gesamten Eisenbahnnetzes des Landes sind zweigleisig ausgeführt.

Das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina wird mit Bahnstrom 25KV, 50Hz betrieben.

Aufgrund des derzeitigen Instandhaltungszustandes der Eisenbahnstrecken und des un stetigen Betriebs der Zugsignale ist die maximale Geschwindigkeit aus Sicherheitsgründen im ganzen Netz auf 70km/h beschränkt.

Die folgende Abbildung zeigt das heutige Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina:

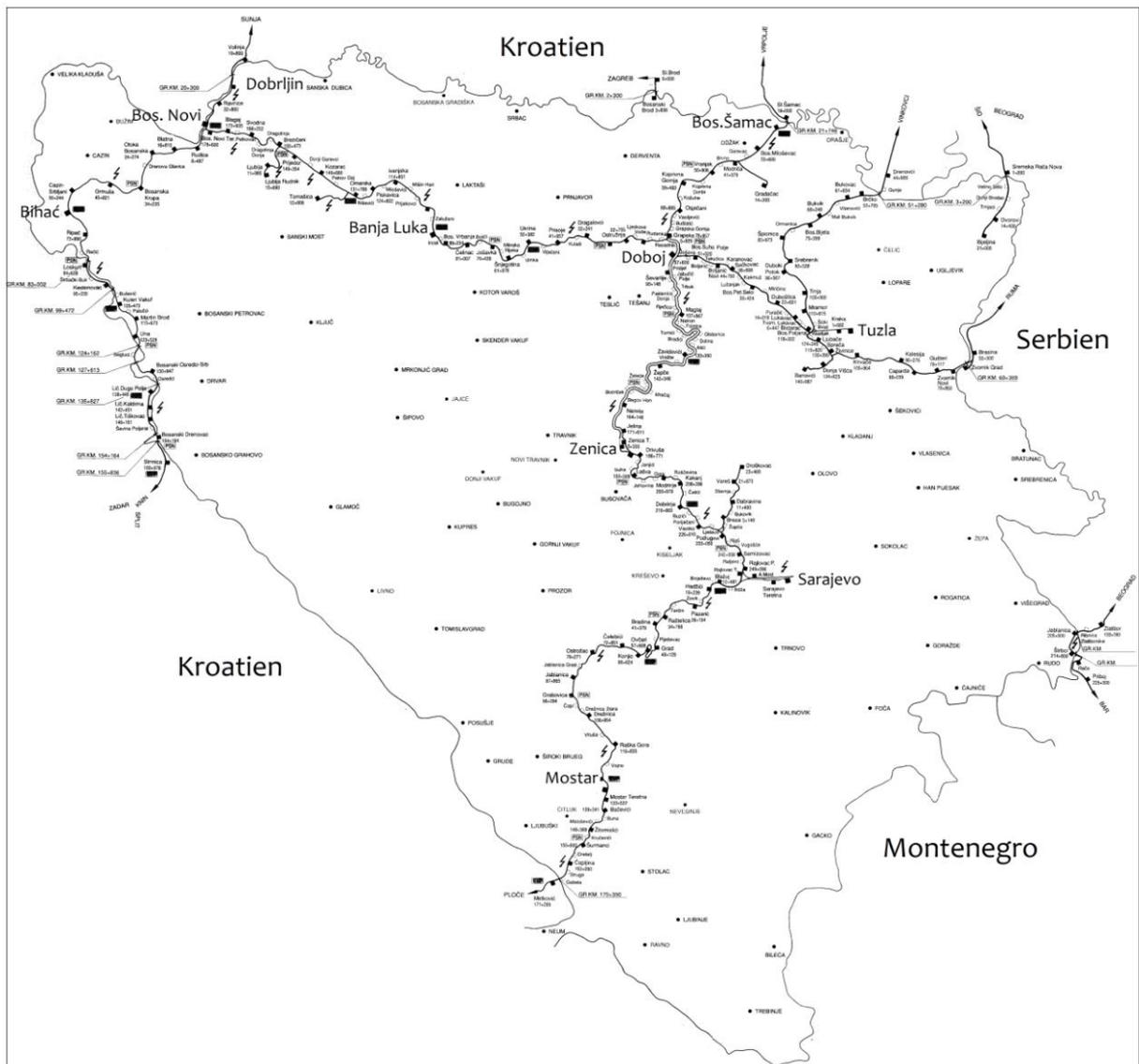


Abbildung 2: Das heutige Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina [3]

2.4 Das Rollmaterial der bosnischen Eisenbahn [6]

Die Lokomotiven der beiden Eisenbahngesellschaften in Bosnien und Herzegowina sind im Allgemeinen alt aber sehr ähnlich.

2.4.1 Die Lokomotiven der Eisenbahngesellschaft der Föderation BiH

Die Eisenbahngesellschaft Föderation BiH verfügt über 100 Lokomotiven:

- (1) 43 elektrische Lokomotiven, davon 20 in fahrtauglichem Zustand
- (2) 57 Diesellokomotiven, davon werden derzeit 20 für den Personen- und Güterverkehr genutzt.

Die bedeutendste Lokomotive stellt die Serie 441 dar. Sie deckt den Personen- und Güterverkehr im Bereich des Korridor Vc ab. Vier Lokomotiven dieser Art wurden angepasst und modernisiert. Ihre technischen Hauptmerkmale sind:

- (1) Max. Geschwindigkeit: 120 km/h
- (2) Max. Belastung bei einer Steigung von 25‰: 500t
- (3) Leistung: 3860 kW
- (4) Stündliche Leistung: 4080kW
- (5) Gesamtgewicht: ~ 80t



Abbildung 3: Lokomotive der Serie 441¹

¹ http://ookaboo.com/o/pictures/picture/20913672/The_same_series_modified_an_renumbered_a; 1.11.2011

Das Zugkraftdiagramm der Lokomotive 441 wird in der folgenden Abbildung dargestellt:

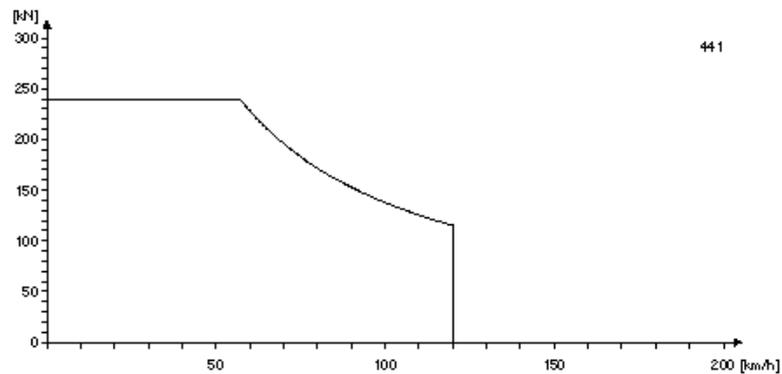


Abbildung 4: Zugkraftdiagramm-Lokomotive der Serie 441

Die nächste wichtige Lokomotive ist die Serie 661. Sie stellt die größte Diesellokomotive mit elektrischer Kraftübertragung dar und wird sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr eingesetzt. Ihre technischen Hauptmerkmale sind:

- (6) Max. Geschwindigkeit: 124 km/h
- (7) Leistung des Dieselmotors: 1.342 kW
- (8) Gesamtgewicht: ~110t



Abbildung 5: Lokomotive der Serie 661²

² http://vozovi.com/forum/search.php?st=0&sk=t&sd=d&author_id=56&start=990; 1.11.2011

Das Zugkraftdiagramm der Lokomotive 661 zeigt folgende Abbildung:

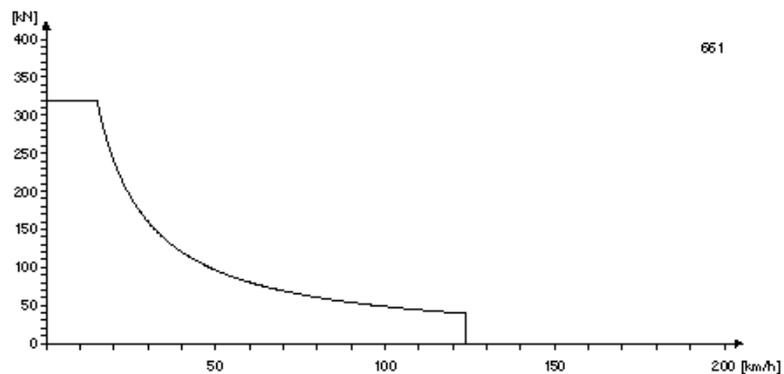


Abbildung 6: Zugkraftdiagramm-Lokomotive der Serie 661

Die 36 Personenwagen über die die Eisenbahngesellschaft Föderation Bosnien und Herzegowina verfügt sind trotz Modernisierung in sehr schlechtem Zustand. Es wurden neun neue Talgo Züge für den Internationalen Verkehr angeschafft, vier davon für den Nachtverkehr und 5 für den Tagverkehr.

2.4.2 Die Lokomotiven der Eisenbahngesellschaft Republika Srpska

Die Anzahl der verfügbaren Lokomotiven in der Republika Srpska beträgt 83 von denen aber nur 53 benutzbar sind. Die bedeutendsten Lokomotiven sind die Lokomotiven der Serie 441 und 661.

In der Folgenden Tabelle sind die Lokomotiven der Eisenbahngesellschaft der Republika Srpska aufgelistet.

Tabelle 2: Übersicht über die verfügbaren Lokomotiven in der Eisenbahngesellschaft der Republika Srpska

Art der Lok	In Betrieb	Nicht in Betrieb	Summe	Durschnitt. Alter
441	22	12	32	29,5
661	17	1	18	36,5
212	3	0	3	44
Rh2060	3	0	3	44
DMU	4	0	4	30
642	1	2	3	43
643	2	0	2	43
733	1	8	9	35,7
EMU	0	7	7	30
Summe	53	30	83	36,9

2.4.3 Triebwagen

Neben den Zügen mit Lokomotiven werden in beiden Eisenbahngesellschaften im Regionalverkehr Elektrotriebwagen (EMU) eingesetzt. In der Eisenbahngesellschaft der Föderation stehen derzeit fünf elektrische Triebwagen zur Verfügung, davon sind vier in Betrieb. In der Eisenbahngesellschaft Republika Srpska werden im Bereich des Regionalverkehrs Dieseltriebzüge (DMU) eingesetzt.

3. METHODISCHES ZUM TAKTFAHRPLAN

3.1 Allgemeines

3.1.1 Der Fahrplan

Unter einem Fahrplan versteht man die voraussehende Festlegung des Verlaufes der Zugfahrten. Dafür sollten mindestens folgende Angaben über jeden Zug bekannt sein:

- (1) Zugnummer
- (2) Verkehrstage
- (3) Laufweg
- (4) Ankunfts-, Abfahrts-, Durchfahrzeiten in den Betriebsstellen
- (5) Zulässige Geschwindigkeit in den einzelnen Abschnitten des Laufweges.

Im Eisenbahnbetrieb hat der Fahrplan drei wesentliche Aufgaben:

- (1) Die Koordinierung der Trassenwünsche des Eisenbahnunternehmens
- (2) Betriebsführung: Der Fahrplan stellt den Soll-Zustand dar
- (3) Kundeninformation der Eisenbahnunternehmen

Um die verschiedenen Zugfahrten auf einer gegebenen Eisenbahninfrastruktur abbilden zu können sind Darstellungsformen notwendig. Der graphische Fahrplan bzw. der Bildfahrplan stellt eine Darstellungsweise des Betriebsablaufes einer Eisenbahnstrecke dar. Er besteht aus Orts- und Zeitachsen, die orthogonal aufeinander ausgerichtet sind. Die Zugfahrten werden dabei als Zeit-Weg-Linien eingetragen[1].

3.1.2 Der Taktfahrplan

Der Taktfahrplan charakterisiert einen Fahrplan bei welchem alle Züge in regelmäßigen, sich periodisch wiederholenden Intervallen in einer vorgesehenen Taktzeit betrieben werden. Er wird ebenso wie der bedarfsorientierte Fahrplan als Zeit-Weg-Diagramm dargestellt. Die Taktzeiten werden meistens sowohl beim Regional- als auch beim Fernverkehr mit 30 Minuten, 1 Stunde oder 2 Stunden gewählt.

Unter einem integralen Taktfahrplan versteht man die Vereinigung der Taktfahrpläne unterschiedlicher Linien zu einem netzweiten, vertakteten System. Die vertakteten Linien des Liniennetzes werden durch die ITF-Knoten miteinander verbunden. Charakteristisch für den integralen Taktfahrplan ist, dass die Taktzeiten in der Weise koordiniert werden müssen, sodass beim Halt in einem ITF-Knoten zwischen allen Linien das Umsteigen gewährleistet ist [1][8].

Folgende Abbildung stellt das Grundprinzip des integralen Taktfahrplanes für eine eingleisige Strecke mit fehlenden Ausweichmöglichkeiten dar:

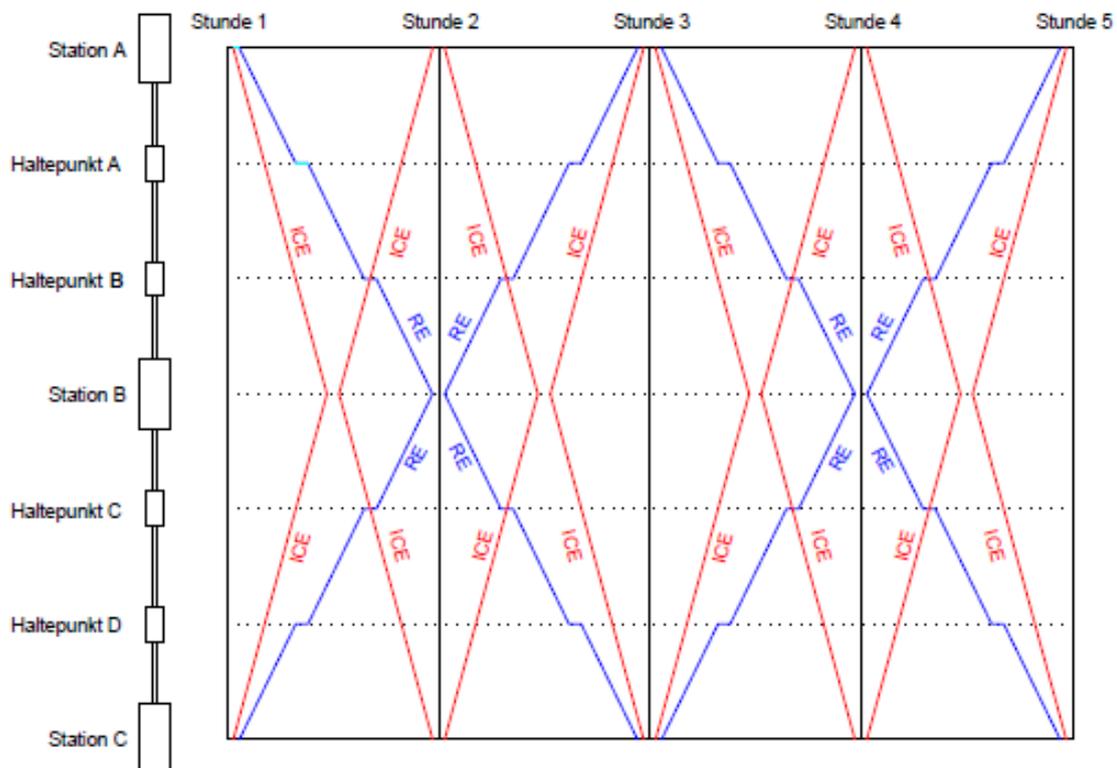


Abbildung 7: Integraler Taktfahrplan, Eigenbild

Der integrale Taktfahrplan entstand als Konzept der Schweizer Bahnen (SBB) die Zentralen Städte und Regionen entlang des gesamten Eisenbahnnetzes der Schweiz zu verbinden. Das Ergebnis dieses Konzeptes war das regionalpolitische Projekt „Bahn 2000“ mit dem diesbezüglichen Motto: „so schnell wie nötig, nicht so schnell wie möglich“ [8].

Das Konzept „Bahn 2000“ wurde im Jahre 1987 vom Schweizer Volk befürwortet und im Jahr 2004 wurde die erste Phase des Projektes abgeschlossen [7].

In Deutschland wurden im Nah- und Regionalverkehr Angebotskonzepte umgesetzt, allerdings weisen diese Defizite bei der Abstimmung der Anschlüsse zum Fernverkehr auf [8].

Die Umsetzung des Österreichischen Konzeptes Neuer Austrotakt (NAT 91) begann 1991. Die erste Phase des Projektes begann am 2. Juni 1991, die zweite und dritte Phase folgten 1995-1997. Das Projekt NAT 91 sollte 2001 fertiggestellt werden. Im Jahr 1990 wurden für das Projekt sieben Intercity Verbindungen in ganz Österreich geplant. Jedoch wurden im Jahr 1996 unter der Bezeichnung „optimierter Personenverkehr 96“ Verbindungen des NAT 91 deutlich reduziert. Das Projekt „NAT 91“ wurde zwar noch nicht offiziell beendet aber durch den Fahrplanwechsel im Jahre 2008 begann die Umsetzung des neuen Projektes „PLAN 912“. Unter Berücksichtigung des nötigen Infrastrukturausbaus verfolgen die Österreichischen Bundesbahnen das Projekt „PLAN 912“ in welchem sie den Eisenbahnverkehr, sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr, bis zum Jahre 2013 vertakten und miteinander verknüpfen wollen [9].

3.2 Anforderungen an die Infrastruktur

Um einen Taktfahrplan in einem Eisenbahnnetz einführen zu können, müssen folgende Randbedingungen hergestellt bzw. eingehalten werden:

- Da die verkehrenden Züge aus beiden Richtungen die gleiche Taktzeit aufweisen, sollte zwischen zwei benachbarten Begegnungspunkten der zeitliche Abstand der halben Taktzeit entsprechen. Dies impliziert auf eingleisigen Strecken das Entstehen von Zwangspunkten welche die Lage der Taktkreuzungen darstellen.
- Die Züge sollten in Bahnhöfen gleichzeitig ein- und ausfahren können weswegen in Bahnhöfen bzw. Knoten der jeweiligen Eisenbahnstrecken mindestens genauso viele Gleise zur Verfügung stehen sollten, wie Eisenbahnlinien vorhanden sind. Die Doppelbelegung von Bahnhofsgleisen welche für die wendenden Züge von Vorteil ist, kann nur bei Bahngleisen, die eine ausreichende Nutzlänge und signaltechnische Ausstattung (Schutzsignale zur Unterteilung der Bahnhofsgleise) aufweisen stattfinden.
- Außerdem sollte ein signifikanter Unterschied in den Fahrzeiten (geschwindigkeitsbedingt oder haltemusterbedingt) der verschiedenen Züge, Schnell- und Regionalzüge, vorhanden sein.

In den Bahnhöfen bzw. Knoten sollten für die taktfreundliche Gestaltung der Infrastruktur auch folgende Zielsetzungen beachtet werden [1]:

- Minimierung der Wartezeiten im Knoten, die zufolge der gegenseitigen Beeinträchtigung der Fahrstraßen (Fahrstraßenausschlüsse bei Ein- und Ausfahrten) entstehen
- Die Wartezeit, die zufolge gegenseitiger Beeinträchtigung der Fahrstraßen entsteht, sollte wenn der Betroffene Zug im Bahnhof hält anfallen und als zusätzliche Verkehrshalte- oder Übergangszeit dem Kunden dargestellt werden [1].

3.3 Methode

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Entwurf des Taktfahrplanes für das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina ausgearbeitet. Unter Verwendung der Software „OpenTrack“ werden Fahrzeiten für jeden Zug errechnet und aus diesen Zugfahrten ein Taktfahrplan erstellt. Die Eingangsgrößen für die Betriebssimulation stellen die Gleisanlage (Infrastruktur), das Rollmaterial (Züge) und der Fahrplan dar.

In der folgenden Abbildung 8 ist der Simulationsablauf in der Software „OpenTrack“ dargestellt, der typisch für mikroskopische Eisenbahnbetriebssimulationen ist.

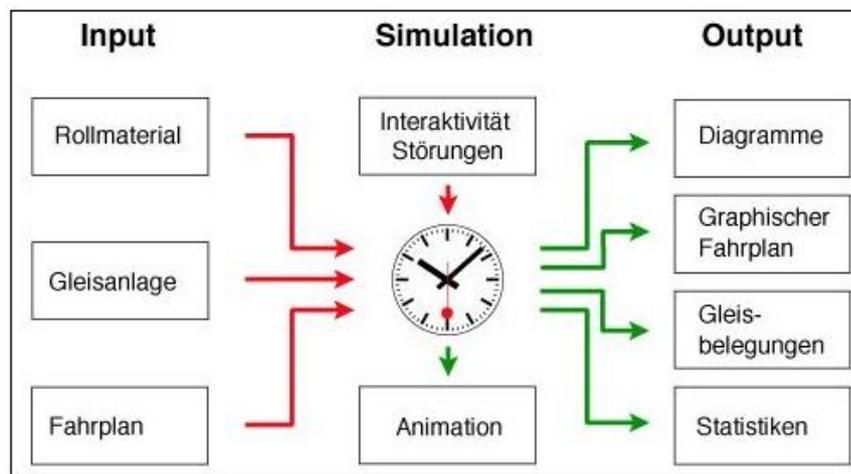


Abbildung 8: Simulationsablauf im OpenTrack [4]

Für die Abbildung der Gleisanlage (Infrastruktur) in „OpenTrack“ wurden folgende Eingangsdaten benötigt:

- (1) Gleislänge
- (2) Längsneigungen der Strecken
- (3) Streckenhöchstgeschwindigkeit
- (4) Standort der Haltestellen bzw. Haltepunkte
- (5) Signalstandorte

Im Weiteren wurden für die Simulation einerseits die Rollmaterialdaten der Triebfahrzeuge aus Kapitel 2.4.1 und andererseits die gewünschten Abfahrtzeiten der jeweiligen Züge benötigt.

Die genauen Standorte der Signale (Einfahr- und Ausfahrtsignale) sowie die Entfernungen der Signale im Bahnhofsbereich (Nutzlängen der Bahnhofsgleise) im Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina sind im Detail nicht bekannt, deswegen wurden diese pauschal angenommen. Die angenommenen Entfernungen sowie die Standorte der Signale können der folgenden Abbildung 9 entnommen werden. Grundsätzlich wird von einer Nutzlänge von 700 Metern je Bahnhofsgleis ausgegangen. Der Stationsquerschnitt (dunkelblaue Knoten) ist aber aus dem Bildfahrplan der Eisenbahn in Bosnien und Herzegowina bekannt. Im Weichenbereich wurden Einfachweichen mit einem Abzweigradius von 190 Metern berücksichtigt, sodass eine Fahrt in die Ablenkung mit 40 km/h erfolgen kann. Die Einfahrtsignale sind rund 50 Meter vor der ersten Weiche positioniert.

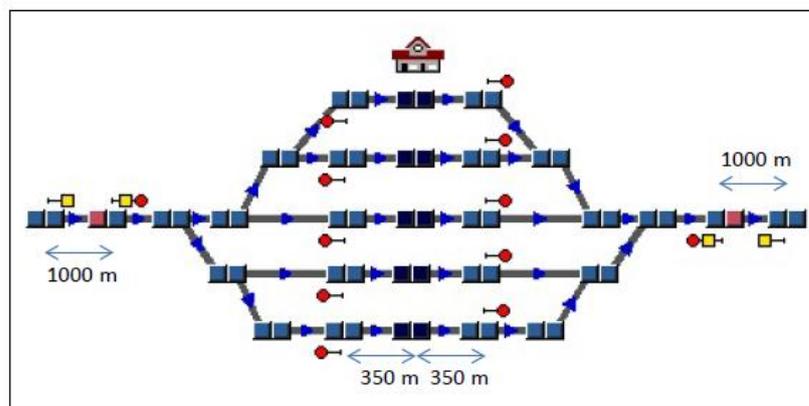


Abbildung 9: Typischer Aufbau eines Bahnhofes

3.4 Fahrzeitanteile im Fahrplan

Im System Bahn setzt sich die Reisezeit des Menschen aus unterschiedlichen Zeitanteilen zusammen. Dazu zählen die Zugangszeit zum Abfahrbahnhof, die Beförderungszeit mit der Bahn und die Abfahrzeit vom Bahnhof bis zum gewünschten Ziel. Die Zeitanteile die in einem Fahrplan berücksichtigen jedoch nur die Beförderungszeit im System Bahn.

Diese Zeitanteile können folgendermaßen untergliedert werden:

- Technische Fahrzeit
- Fahrzeitreserve
- Haltezeit

3.4.1 Technische Fahrzeit

Die technische Fahrzeit eines Zuges ergibt sich aus der fahrdynamischen Berechnung. Die Fahrzeitenrechnung stellt die Grundlage für die Erstellung eines Fahrplanes dar. Im Folgenden wird näher auf die Berechnung der Fahrzeit eingegangen [1].

Die Grundgleichung der Dynamik dient als Ausgangspunkt für die Fahrzeitenrechnung:

$$F = m \cdot a \quad \text{bzw.} \quad a = \frac{F}{m}$$

Dabei sind:

F [kN]: Kraft

m [kg]: Masse

a [m/s²]: Beschleunigung

Um die Beschleunigung des Zuges gewährleisten zu können, muss die Kraft die durch das Triebfahrzeug auf die Schiene übertragen wird größer sein als der Fahrwiderstand. Der sogenannte Zugkraftüberschuss wird als Differenz von Zugkraft und Fahrwiderstand definiert [4].

$$F_Z = Z(v) - R_F(v, s)$$

Dabei sind:

F_Z [N] - Zugkraftüberschuss

Z [N] - Zugkraft

R_F [N] - Fahrwiderstand

v [m/s] - Geschwindigkeit

s [m] - zurückgelegter Weg (Ort)

Die Zugkraft, die umwelt- und geschwindigkeitsabhängig ist, liefert das Zugkraftdiagramm. Für den Fall dass der gesamte Zugkraftüberschuss für die Beschleunigung des Zuges aufgewendet wird bekommt man die max. technisch mögliche Beschleunigung. Daraus folgt dass der Zugkraftüberschuss gleich dem Beschleunigungswiderstand ist [4]. Dies liefert:

$$a = \frac{F_Z}{m \cdot (1 + 0,01 \cdot \rho)}$$

Dabei sind:

F_Z [N] - Zugkraftüberschuss

a [m/s²] - Beschleunigung

m [kg] - Zugmasse

ρ - Massenfaktor für Rotierende Massen

Mithilfe des Eulerverfahrens wird nun die Geschwindigkeit bestimmt.

$$v(t) = v(t - \Delta t) + \Delta t \cdot \frac{dv}{dt}(t - \Delta t); v(t_0) = v(0)$$

Numerische Integration der momentanen Geschwindigkeit liefert somit:

$$v = v_0 + \int_{t_1}^{t_2} a dt \quad \text{bzw.} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

Durch die noch einmalige Integration der Geschwindigkeit bekommt man die zurückgelegte Strecke [4].

$$s = s_0 + \int_{t_1}^{t_2} v dt \quad \text{bzw.} \quad v = \frac{ds}{dt}$$

3.4.2 Fahrzeitreserve

Die Fahrzeitreserve bzw. der Regelzuschlag wird im Eisenbahnbetrieb benützt, um einen Ausgleich bei möglichen geringfügigen Verspätungen gewährleisten zu können. Diese Verspätungen können durch Instandhaltungsmaßnahmen (nur kleinere), technischen Betriebsstörungen, Behinderungen der Betriebsabwicklung usw. entstehen.

Die unten angeführte Tabelle zeigt die Fahrzeitreserven für lokbespannte Reisezüge in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des Gewichtes des Betroffenen Zuges.

Tabelle 3: Fahrzeitreserve für lokbespannte Reisezüge nach UIC 451-1 [10]

<u>V. max.</u> Last	≤ 140 km/h	141-160 km/h	161-200 km/h	> 200 km/h
≤ 300 t	3%	3%	4%	5%
301 - 500 t	4%	4%	5%	6%
501 - 700 t	4%	5%	6%	7%
> 700 t	5%	5%	6%	7%

3.4.3 Haltezeit

Haltezeiten entstehen entweder bei Betriebshalten oder bei Verkehrshalten. Betriebshalte entstehen, wenn ein Zug aus betrieblichen Gründen angehalten werden muß oder nicht weiterfahren kann, weil die erforderliche Fahrstraße nicht verfügbar ist. Betriebshalte sind z.B. Lokwechsel, Abwicklung von Kreuzungen und Abwicklung der Überholungen. Verkehrshalte dagegen dienen ausschließlich dem Umsteigen der

Fahrgäste im Personenverkehr und der Abwicklung von Ladetätigkeiten im Güterverkehr. Im Rahmen dieser Diplomarbeit betragen die Verkehrshalte bei den Schnellzügen zwischen 120-240 Sekunden und bei den Regionalzügen zwischen 30-60 Sekunden.

4. ANWENDUNG DES TAKTFAHRPLANS BEI DER EISENBAHN IN BOSNIEN UND HERZEGOWINA

Primär wurde versucht, einen Einstudentakt auf den einzelnen Streckenabschnitten einzuführen. Beim Einstudentakt sollten sowohl Schnellzüge als auch Regionalzüge in den Vollstundenknoten zur annähernd gleichen Zeit ankommen und abfahren können. Dies scheiterte jedoch meistens daran, dass kein signifikanter Unterschied in den Geschwindigkeiten und damit auch in den Fahrzeiten der Schnell- bzw. Regionalzüge vorhanden war. Die zweite Variante stellte der Halbstudentakt dar. Bei dieser Variante sollten die Schnellzüge einen Einstudentakt und die Regionalzüge einen Halbstudentakt aufweisen. Diese Variante scheiterte aber daran, weil die benötigten Zugkreuzungen nicht durchführbar waren bzw. lange Aufenthaltszeiten in Kauf genommen werden mussten. Die dritte Variante stellte den Zweistudentakt dar, bei dem die Schnellzüge und Regionalzüge jeweils abwechselnd zur vollen geraden oder ungeraden Stunden den Vollknoten erreichen sollten.

Der Zweistudentakt erweist sich für alle eingleisigen Strecken des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina als ausführbar.

In der Simulation wurden zuerst die Zugfahrten der Schnellzüge simuliert. Der technischen Fahrzeit dieser Züge wurde eine Fahrzeitreserve aufgeschlagen und daraus die Voll- bzw. Halbknoten definiert. Die Fahrzeitreserve wurde mit 5-10% angenommen und wurde für die Zugkreuzungen der Schnell- und Regionalzüge benutzt. Darauf folgend wurden die Regionalzüge simuliert und der Taktfahrplan optimiert.

In den folgenden Kapiteln werden einzelne Streckenabschnitte des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina kurz erläutert und die Entwürfe der Taktfahrpläne für die jeweiligen Abschnitte dargestellt und diskutiert.

4.1 Infrastrukturabschnitt Sarajevo - Čapljina

Der Infrastrukturabschnitt Sarajevo-Čapljina weist eine Gesamtlänge von 179.3 km auf. Der gesamte Streckenabschnitt verläuft eingleisig. Die Infrastruktur der Strecke wird mit der Abbildung 20 im Anhang A veranschaulicht. Dieser Streckenabschnitt verfügt über 22 Bahnhöfe und 15 Haltepunkte. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Strecke verkehren sowohl Schnellzüge als auch Regionalzüge. Beide werden von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, geführt. Die Schnellzüge verfügen dabei über sechs und die Regionalzüge über drei Waggons.

Mithilfe der Fahrzeitenrechnung im „OpenTrack“ wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Eisenbahnstrecke Sarajevo-Gabela definiert.

Die Volknoten sind:

- Sarajevo
- Jablanica
- Mostar

Die Halbknoten sind:

- Hadžići
- Konjic

In der folgenden Abbildung wird der Taktfahrplan für den Streckenabschnitt Sarajevo-Gabela dargestellt.

Sarajevo - Gabela

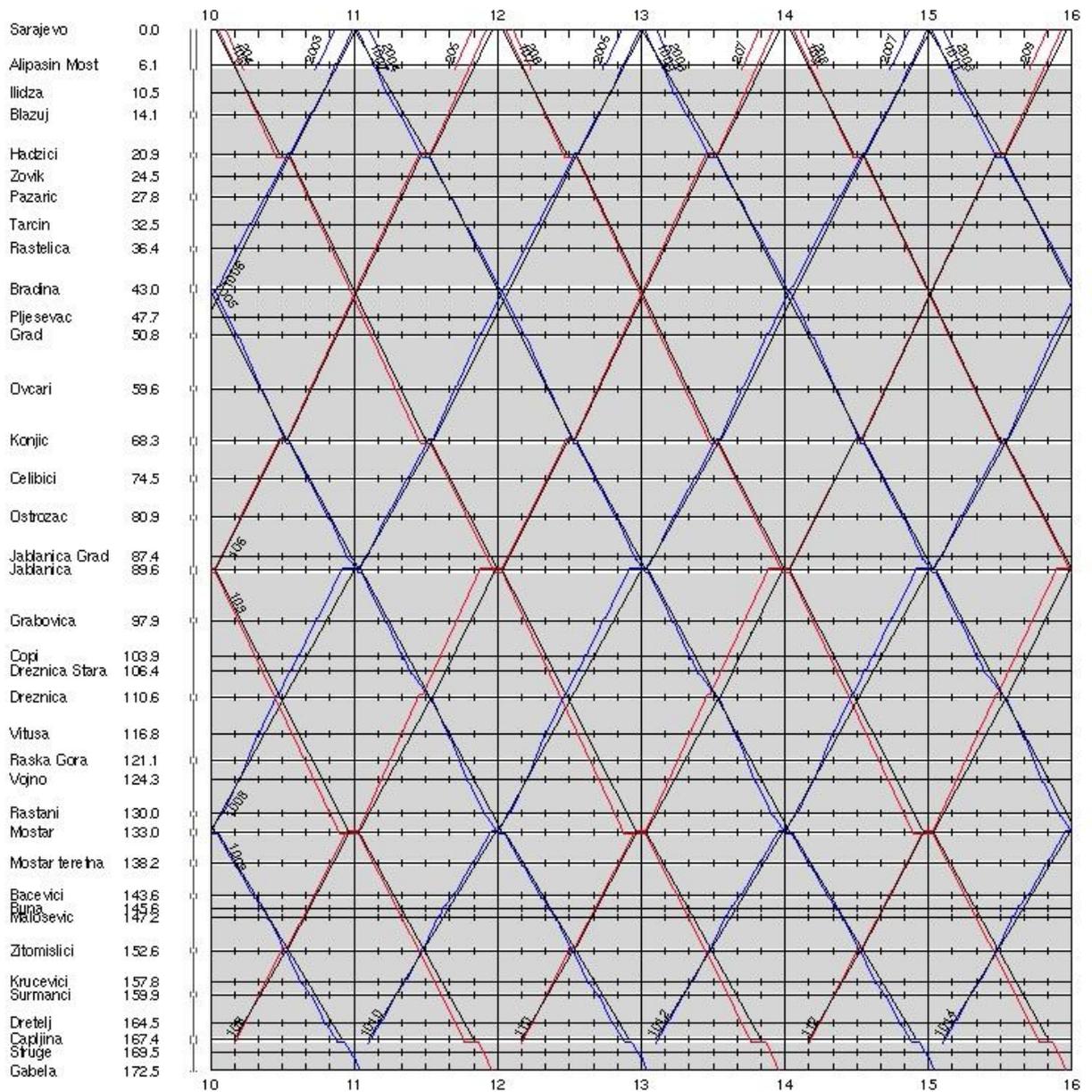


Abbildung 10: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Sarajevo-Čapljina

In diesem Streckenabschnitt erweist sich der Zweistundentakt als durchführbar. In der obigen Abbildung stellen die roten Linien die Schnellzüge und die blauen Linien die Regionalzüge dar.

Im Folgenden werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven tabellarisch dargestellt.

Tabelle 4: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Sarajevo-Čapljina

ICE	K. 107	2-Stunden Takt					K. 106	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Sarajevo	↓		12:02	12:02			↑	11:58	11:56	12:00	120	8.3
Hadžići		12:29	12:28	12:33	240	3.8	11:28	11:27	11:32	240	1.8	
Konjic		13:30	13:28	13:32	120	1.8	10:29	10:28	10:32	180	0.0	
Jablanica		14:00	13:59	14:02	120	3.7	9:59	9:52	10:02	180	11.8	
Mostar		14:58	14:53	15:02	240	7.7	8:58	8:57	9:02	240	2.1	
Čapljina		15:50	15:46	15:52	120	9.1	8:10	8:10				
RE	K. 1007	2-Stunden Takt					K. 1006	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Sarajevo	↓		11:00	11:00			↑	11:01	11:00	11:02	60	2.8
Hadžići		11:31	11:28	11:31	30	6.7	10:33	10:32	10:33	30	0.8	
Konjic		12:32	12:31	12:33	60	0.8	9:32	9:31	9:33	60	4.3	
Jablanica		13:02	13:01	13:03	60	1.7	9:00	8:55	9:02	120	8.9	
Mostar		14:02	14:00	14:03	60	2.6	7:59	7:57	8:00	60	2.6	
Čapljina		14:55	14:52	14:56	60	4.0	7:06	7:06				

Der Streckenabschnitt Sarajevo-Gabela stellt einen Teil der Südbahnstecke von Bosnien und Herzegowina dar. Dieser Streckenabschnitt verbindet Bosnien und Herzegowina mit Kroatien und verläuft bis zum kroatischen Hafen Ploče. Für diesen Abschnitt ist festzuhalten, wie aus der Abbildung 10 ersichtlich, dass die Zugkreuzungen sowohl der Schnell- als auch der Regionalzüge ohne nennenswerte Behinderung stattfinden können und sich die Züge genau in den Voll- bzw. Halbknoten kreuzen. In der Tabelle 4 sind die Ankunftszeiten, die technische Fahrzeiten, die Abfahrzeiten, die Aufenthaltsdauer in den Stationen, sowie die Fahrzeitreserve in Prozent angegeben. Da die möglichen Zugskreuzungen schon von der Infrastruktur des Streckenabschnittes vorgegeben sind, konnten die Fahrzeitreserven nicht weiter harmonisiert werden. Überall dort, wo die Fahrzeitreserve unter 3 Prozent liegt, wäre eine Geschwindigkeitserhöhung sinnvoll, die in den meisten Abschnitten durch eine Instandhaltungsmaßnahme beim Oberbau erreicht werden kann, da die Trassierung hier nicht der limitierende Faktor ist. Der Zweistundentakt wurde gewählt weil bei den Schnell- und Regionalzügen kein nennenswerter Geschwindigkeitsunterschied bzw. Fahrzeitunterschied gegeben ist. Beide fahren mit einer Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h. Um einen Einstundentakt aufzustellen muss wie schon im Kapitel 3.2 er-

wähnt ein signifikanter Unterschied in der Geschwindigkeit bzw. bei den resultierenden Fahrzeiten vorhanden sein.

4.2 Infrastrukturabschnitt Sarajevo-Zenica

Der Eisenbahnabschnitt Sarajevo-Zenica hat eine Gesamtlänge von ca. 80.3 km. Diese Eisenbahnstrecke wird fast auf der gesamten Strecke eingleisig geführt, nur der Abschnitt zwischen Sarajevo und Alipašin Most weist einen zweigleisigen Streckenabschnitt auf. Die Infrastruktur der Strecke kann man der Abbildung 21 im Anhang A entnehmen. Dieser Streckenabschnitt verfügt über 12 Bahnhöfe und 10 Haltepunkte. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Sowohl Schnellzüge als auch Regionalzüge verkehren auf diesem Streckenabschnitt. Beide werden von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, angetrieben. Die Schnellzüge weisen sechs und die Regionalzüge drei Waggons auf.

Mittels Fahrzeitenrechnung wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Bahnstrecke Sarajevo-Zenica definiert.

Die Volknoten sind:

- Sarajevo
- Visoko
- Zenica

Die Halbknoten sind:

- Sezimovaci
- Kakanj

Die unten angeführte Abbildung zeigt den Taktfahrplan für den Infrastrukturabschnitt Sarajevo-Zenica.

Zenica - Sarajevo

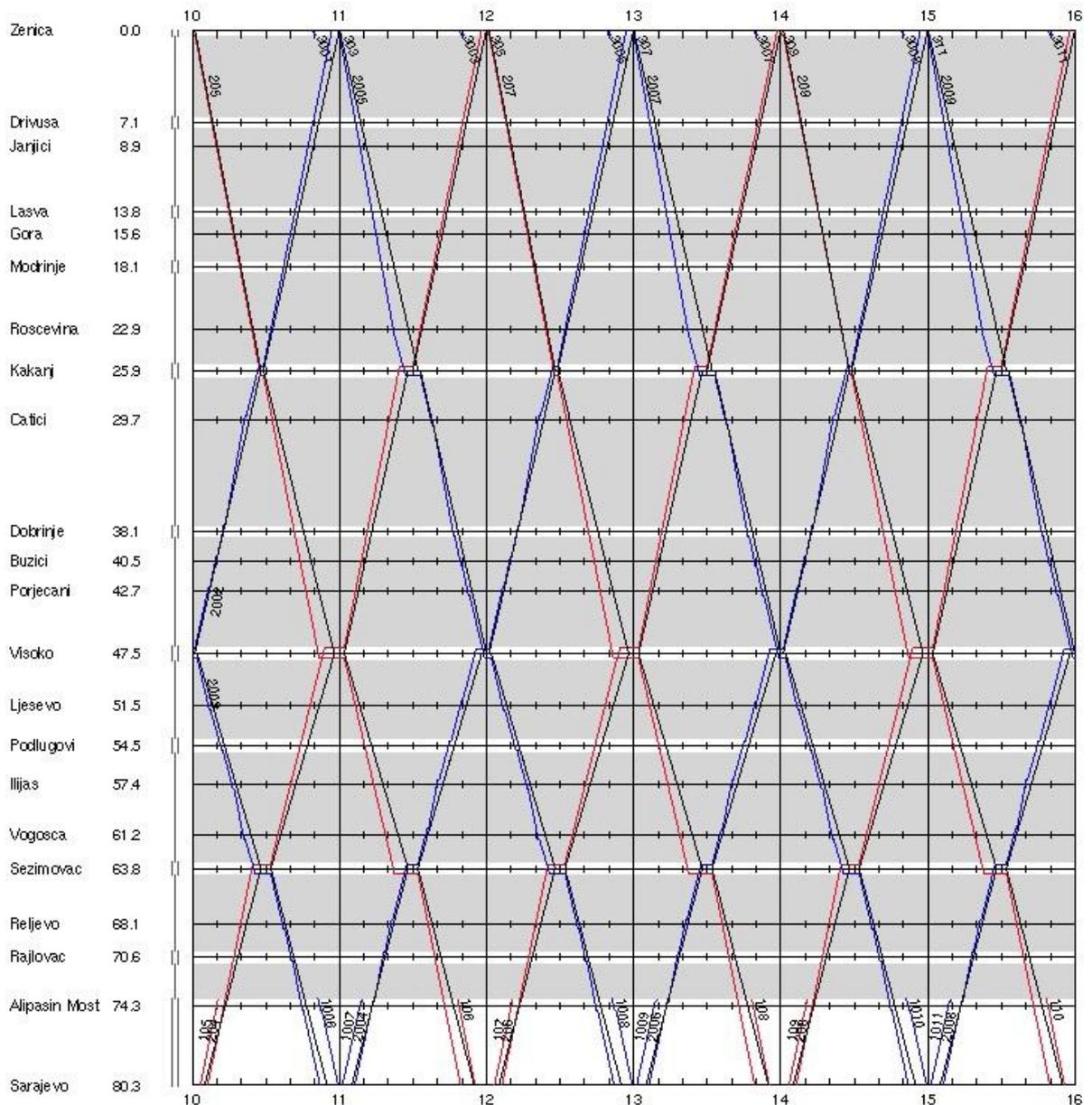


Abbildung 11: Entwurf des Taktfahrplanes für den Abschnitt Sarajevo-Zenica

Wie aus der oberen Abbildung ersichtlich wurde auch in diesem Teil, ein Zweistundentakt gewählt. Die roten Linien in der Abbildung veranschaulichen die Schnellzüge und die blauen die Regionalzüge.

In Tabelle 5 werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven angeführt.

Tabelle 5: Fahrplan in Tabellenform für die zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Sarajevo-Zenica

ICE	K.207	2-Stunden Takt					K.204	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Zenica	↓		12:01	12:01				12:00	11:58	12:02	120	4.4
Kakanj		12:28	12:27	12:29	60	0.7	11:28	11:24	11:30	120	15.3	
Visoko		12:58	12:51	13:02	240	27.5	10:58	10:53	11:02	240	18.6	
Sezimovac		13:28	13:22	13:32	240	27.3	10:28	10:24	10:32	240	16.6	
Sarajevo		13:55	13:49	14:02	420	31.7		10:05	10:05			
RE	K.2005	2-Stunden Takt					K.2002	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Zenica	↓		11:00	11:00				11:00	10:57	11:02	120	8.0
Kakanj		11:32	11:26	11:33	60	18.6	10:28	10:27	10:29	60	3.1	
Visoko		12:00	11:59	12:02	120	2.8	9:58	9:55	10:01	180	10.2	
Sezimovac		12:28	12:25	12:32	240	9.9	9:28	9:27	9:32	240	2.4	
Sarajevo		12:55	12:52	13:02	420	10.6		9:05	9:05			

Die Eisenbahnstrecke Sarajevo-Zenica stellt einen ein Teil des Gesamteuropäischen Korridors Vc. Der Tabelle 5 kann entnommen werden, daß auf dieser Eisenbahnstrecke abschnittsweise Fahrzeitreserven größer 25 % anfallen. Diese Reservezeiten werden aber benötigt, um die Zugkreuzungen auf dieser Strecke zu ermöglichen. Für diesen Streckenabschnitt ist zu erwähnen, dass wegen der nicht vorhandenen Fahrzeitreserve zwischen Roščevina und Zenica die Regionalzüge in diesem Abschnitt nicht halten können. Um ein Halten der Regionalzüge auf diesem Teilstück zu ermöglichen, ist eine Geschwindigkeitserhöhung (Instandhaltungsmaßnahme) notwendig.

4.3 Infrastrukturabschnitt Zenica-Doboj

Der Streckenabschnitt Zenica-Doboj weist eine Gesamtlänge von ca. 96.9 km auf. Nur diese Eisenbahnstrecke in Bosnien und Herzegowina wird auf der gesamten Länge zweigleisig geführt. Auf der Abbildung 22 im Anhang A wird die Eisenbahninfrastruktur der Strecke dargestellt. Der gesamte Streckenabschnitt verfügt über 7 Bahnhöfe und 18 Haltepunkte. Auf der freien Strecke beträgt die Streckenhöchstgeschwindigkeit 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Die Schnell- und die Regionalzüge, die auf dieser Strecke verkehren werden beide von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 beschrieben wurde, angetrieben. Die Schnellzüge verfügen über sechs und die Regionalzüge über drei Waggons.

Für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Eisenbahnstrecke Sarajevo-Zenica lieferte die Fahrzeitenrechnung im „OpenTrack“ folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten.

Die Volknoten sind:

- Zenica
- Zavidovići
- Doboj

Die Halbknoten sind:

- Nemila
- Zavidovići
- Ševalije

Die folgende Abbildung zeigt den Taktfahrplan für den Abschnitt Doboј-Zenica.

Doboј - Zenica

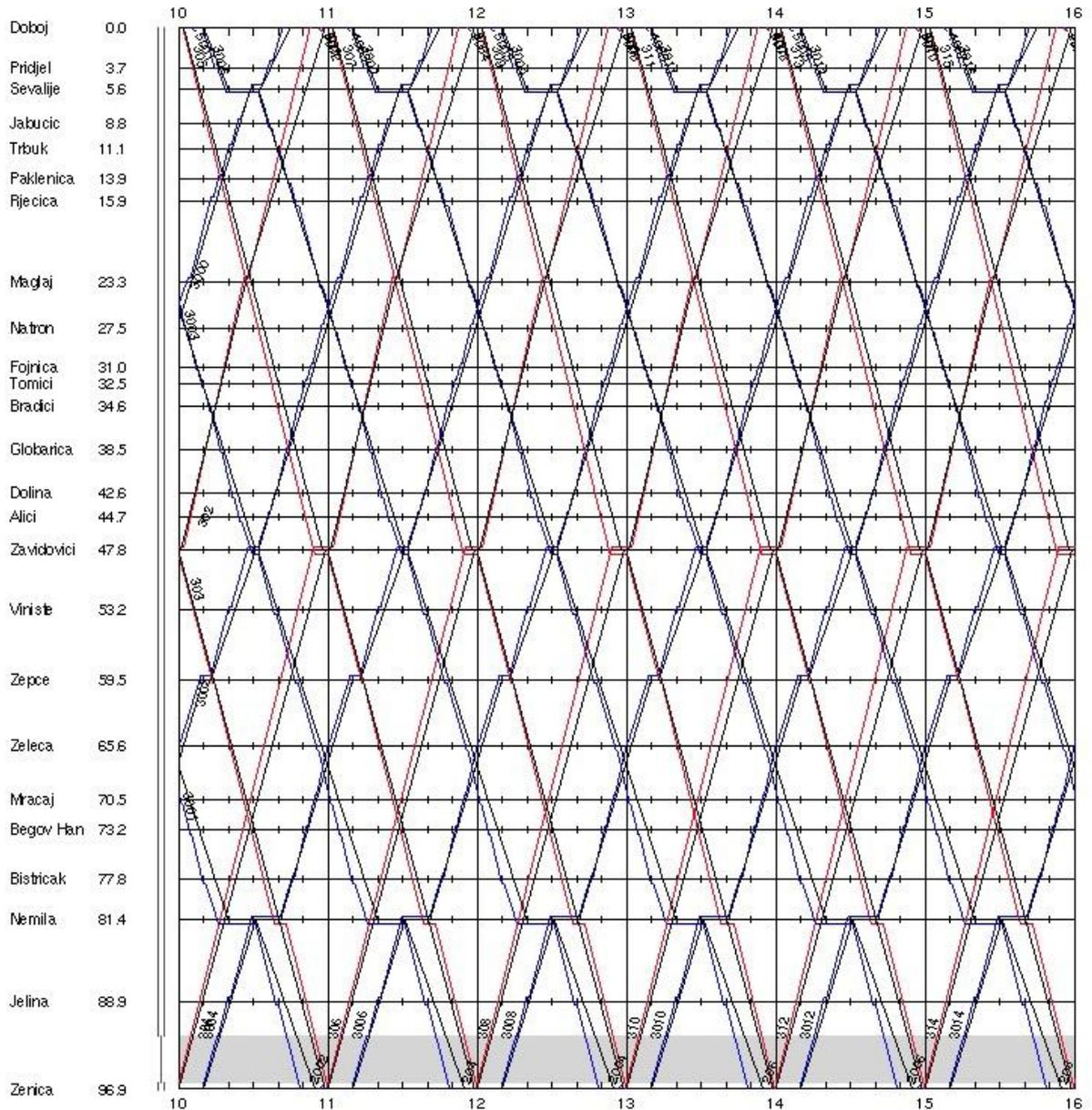


Abbildung 12: Bildfahrplan für den Abschnitt Zenica-Doboј

Der Abbildung 12 kann entnommen werden, dass auf dem Bahnabschnitt Sarajevo-Doboј ein Einstundentakt erfolgreich angewendet wurde. Dabei stellen die roten Linien die Schnell- und die blauen die Regionalzüge dar. Die Umsetzung des

Einstundentaktes wird durch die zweigleisige Streckenführung ermöglicht, da die Zwangspunkte in den Kreuzungsbahnhöfen gänzlich entfallen.

In der folgenden Tabelle werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven tabellarisch dargestellt.

Tabelle 6: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Zenica-Doboj

ICE	K.309	1-Stunden Takt					K.304	1-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓		12:02	12:02				11:59	11:53	12:01	120	11.5
Zavidovići		12:58	12:53	13:00	120	8.9	10:59	10:54	11:02	180	8.5	
Zenica		14:00	13:59	14:02	120	0.5	10:00	10:00				
RE	K.3009	1-Stunden Takt					K.3002	1-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓		12:10	12:10				11:45	11:42			
Ševalje		12:20	12:19	12:32	720	7.0	11:30	11:29	11:34	240	0.6	
Zavidovići		13:31	13:29	13:32	60	2.1	10:31	10:28	10:32	60	6.2	
Nemila		14:20	14:16	14:31	660	9.0	9:31	9:29	9:41	600	7.2	
Zenica		14:55	14:49	14:58	180	28.5	9:10	9:10				

Für diesen Eisenbahnabschnitt ist festzuhalten, dass die Regionalzüge, die in Richtung Doboj verkehren, wegen des eingleisigen Abschnittes zwischen Jelina und Zenica eine Zugfolgezeit von ca. 10 Minuten aufweisen. Dies führt dann in der Station Nemila zu längeren Wartezeiten der Regionalzüge. Hier wäre zu klären, ob es auf dem eingleisigen Abschnitt vielleicht doch Blocksignale gibt, die ein Nachfahren eines Folgezuges ermöglichen. Auch im Knoten Doboj, der einen wichtigen Kreuzungspunkt des gesamten Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina darstellt, kommt es für die Regionalzüge, die in die Richtung Zenica fahren zu längeren Wartezeiten der Regionalzüge in der Station Ševalje. Die längeren Wartezeiten werden durch die Zugfolgezeit der Schnellzüge, die hier ca. 8 Minuten beträgt, hervorgerufen. Durch Infrastrukturmaßnahmen, wie z.B. der Geschwindigkeitserhöhung der Eisenbahnstrecke, könnten diese beiden genannten Zwangspunkte besser optimiert und die Fahrzeitreserve harmonisiert werden.

4.4 Infrastrukturabschnitt Doboj-Tuzla

Der Streckenabschnitt Doboj-Tuzla weist eine Gesamtlänge von ca. 87.5 km. Die Eisenbahnstrecke wird auf der gesamten Strecke eingleisig geführt. Die gesamte Infrastruktur der Strecke ist der Abbildung 23 im Anhang A ersichtlich. Über diesen Streckenabschnitt sind nicht alle Daten, die für die Fahrzeitenrechnung relevant sind, bekannt. Die Längsneigung der Strecke ist im gesamten Abschnitt unbekannt und für die Simulation wurde sie daher mit 0 ‰ angenommen. Auf dem Streckenabschnitt zwischen Doboj und Jošava, welcher eine Länge von 27,5 km aufweist, gibt es vermutlich noch Bahnhöfe und Haltepunkte, die aber hinsichtlich ihrer Lage auch nicht bekannt sind. Daher konnten sie in der Simulation nicht berücksichtigt werden.

Der bekannte Streckenabschnitt weist 11 Bahnhöfe und 2 Haltepunkte auf. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Strecke verkehren nur Regionalzüge, da keine größeren Städte zwischen Doboj und Tuzla vorhanden sind und von einem dichten Güterverkehr auf dieser Eisenbahnstrecke ausgegangen werden kann (siehe hist. Entwicklung im Kap. 2.1)

Die Regionalzüge werden von der Lokomotive der Serie 661, die im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, angetrieben und verfügen über drei Waggon.

Mithilfe der Fahrzeitenrechnung wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Eisenbahnstrecke Doboj-Tuzla definiert.

Die Volknoten sind:

- Doboj
- Sočkovac
- Tuzla

Die Halbknoten sind:

- Jošava
- Lukavac

Auf der folgenden Abbildung ist der Taktfahrplan für den Streckenabschnitt Doboju-Tuzla ersichtlich.

Doboj - Tuzla

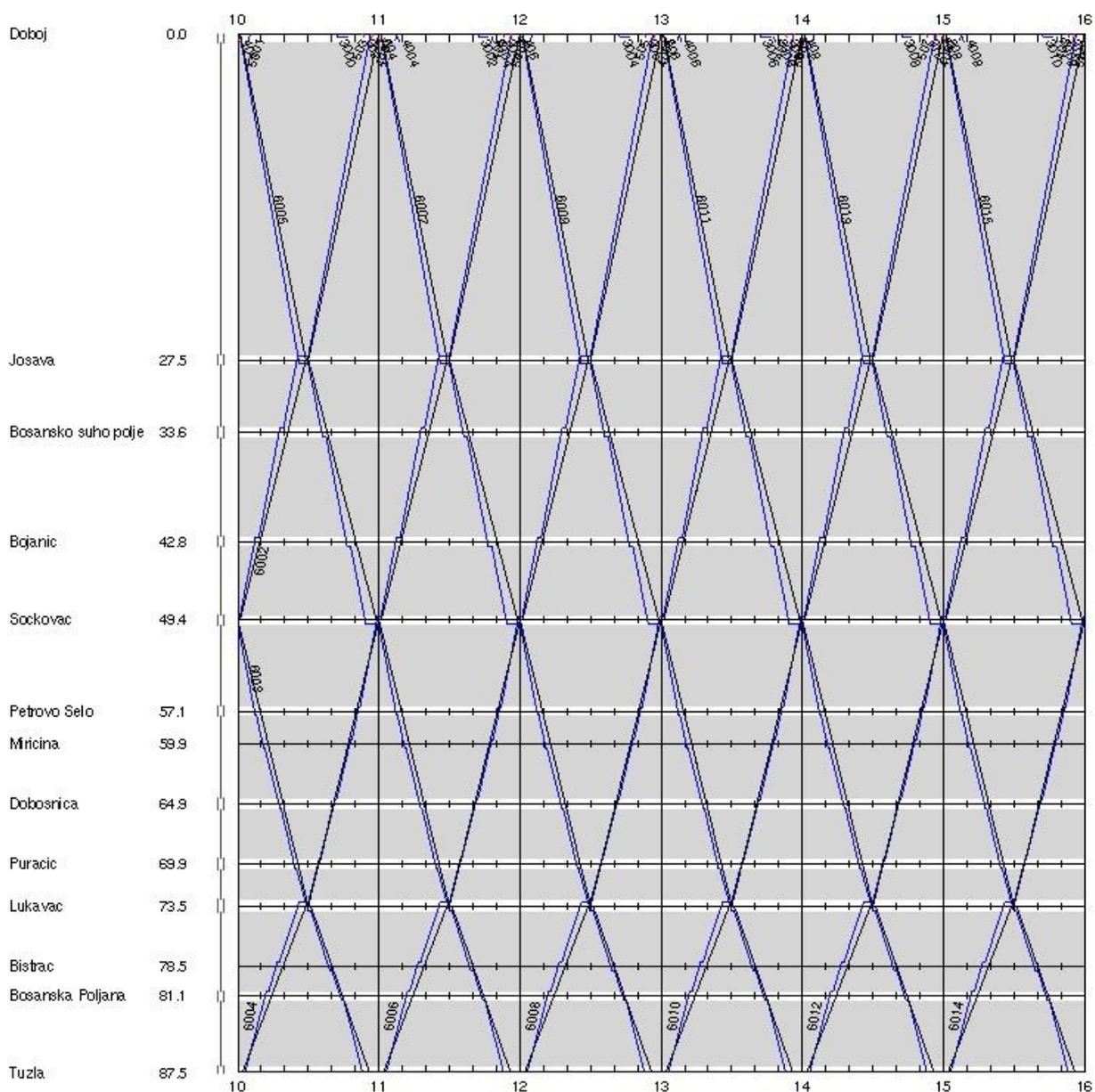


Abbildung 13: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Doboju-Tuzla

Auf dem Eisenbahnabschnitt Doboju-Tuzla wird im Rahmen dieser Diplomarbeit aus schon erwähnten Gründen nur ein Regionalverkehr geführt. Dieser wird im Einstundentakt abgewickelt.

Die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven werden in der folgenden Tabelle dargestellt

Tabelle 7: Fahrplan in Tabellenform für zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Tuzla

RE	K 6004 ↓	1-Stunden Takt					K 6009 ↑	1-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Tuzla			10:02	10:02				13:56	13:53			10.1
Lukavac		10:29	10:26	10:30	60	11.8		13:30	13:29	13:31	60	0.5
Sočkovac		11:00	10:59	11:01	60	1.8		12:59	12:54	13:00	60	18.4
Jošava		11:29	11:25	11:30	60	14.4		12:29	12:26	12:30	60	11.7
Doboj	↓	12:00	11:57			10			12:01	12:01		

Zusammenfassend kann man für diesen Abschnitt sagen, dass die Zugkreuzungen zugleich als Verkehrshalte genutzt werden können. Die Regionalzüge in beiden Richtungen weisen jedoch zwischen Lukavac und Sočkovac eine geringe Fahrzeitreserve (1,8 % bzw. 0,5 %) auf. Die Halte zwischen diesen zwei Bahnhöfen betragen 30 Sekunden. Da die Haltezeit in diesem Abschnitt schon an der unteren Grenze ist, könnte man die Fahrzeitreserve nur erhöhen in dem man entweder Haltepunkte nicht bedient oder aber die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit erhöht.

4.5 Infrastrukturabschnitt Doboj-Bosanski Šamac

Der Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac weist eine Gesamtlänge von ca. 60.6 km auf. Dieser Abschnitt verbindet das Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina mit dem Eisenbahnnetz von Serbien.

Die Eisenbahnstrecke Doboj-Bosanski Šamac wird fast auf der gesamten Strecke eingleisig geführt. Zwischen Doboj und Srpska Kostajnica gibt es einen kurzen zweigleisigen Abschnitt. Die Infrastruktur der Strecke Doboj-Bosanski Šamac kann der Abbildung 24 im Anhang A entnommen werden. Dieser Streckenabschnitt verfügt über 7 Bahnhöfe und 9 Haltepunkte. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Strecke verkehren Schnellzüge, die sechs Waggons, und Regionalzüge die drei Waggons aufweisen. Beide werden von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, angetrieben.

Mittels der Simulation wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf dem Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac definiert.

Die Volknoten sind:

- Doboj
- Modriča

Die Halbknoten sind:

- Bosanski Šamac
- Gornja Koprivna

Die folgende Abbildung zeigt den Taktfahrplan für den Infrastrukturabschnitt Doboj-Bosanski Šamac.

Bos.Samac - Doboj

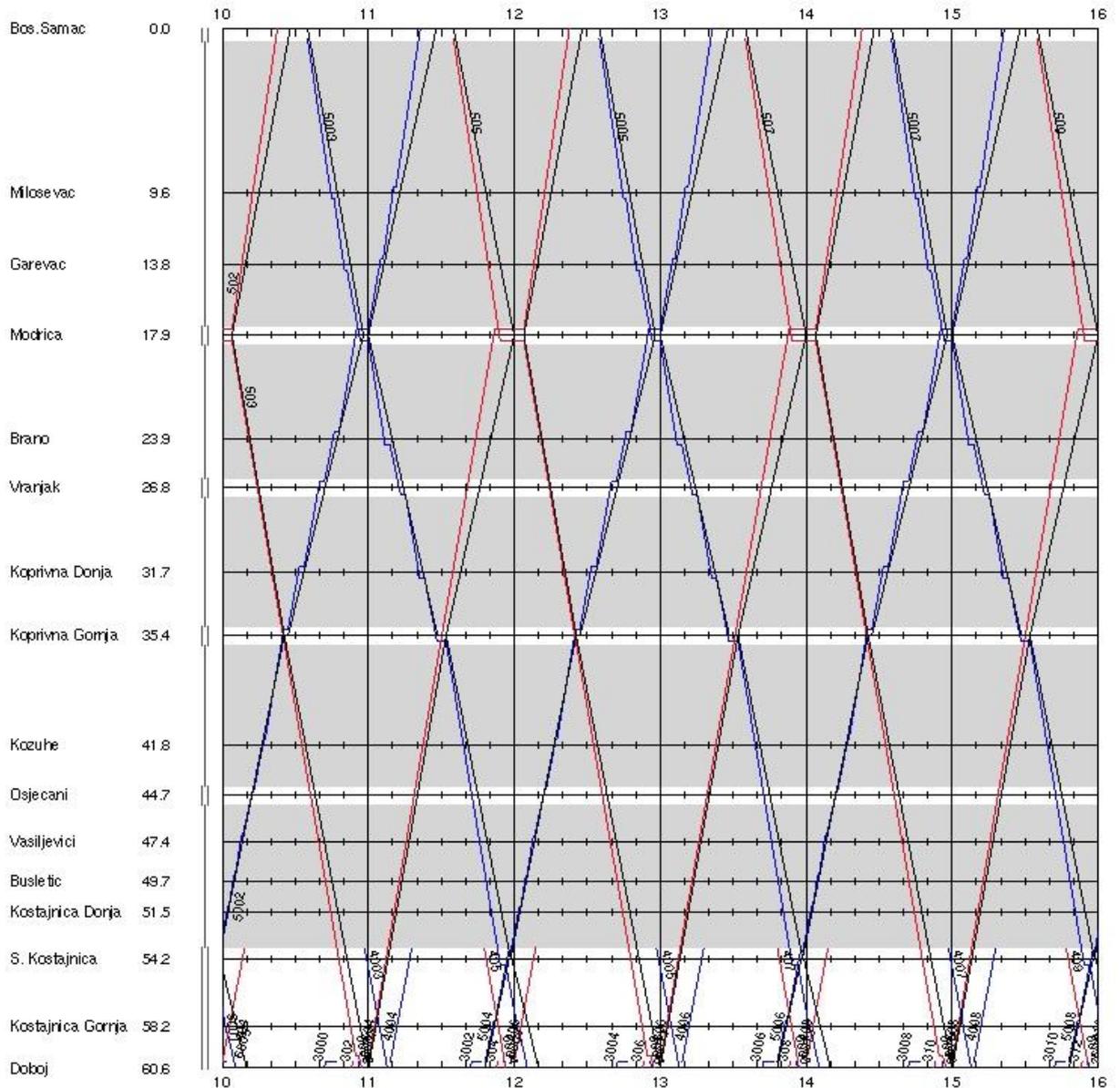


Abbildung 14: Darstellung des Taktfahrplanes für den Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac

Auf diesem Eisenbahnabschnitt wurde der Zweistundentakt gewählt. In der Abbildung 14 werden die Schnellzüge durch die roten und die Regionalzüge durch die blauen Linien dargestellt.

Im Weiteren werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven tabellarisch dargestellt.

Tabelle 8: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac

ICE	K.506	2-Stunden Takt					K.507	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓		13:00	13:00				15:00	14:58			3.4
Modriča		14:00	13:52	14:04	240	11.0	14:00	13:54	14:04	240	30.4	
Bos.Šamac		14:28	14:23			23.7		13:35	13:35			
RE	K.5004	2-Stunden Takt					K.5005	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓		11:48	11:48				14:10	14:06			17.5
K.Gornja		11:58	11:57	11:58	30	4.2	13:28	13:28	13:32	240	0.8	
Modriča		12:58	12:55	13:00	120	4.8	12:58	12:56	13:00	120	3.6	
Bos.Šamac		13:28	13:21			28.6		12:35	12:35			

Es ist sowohl aus der Abbildung 14 als auch aus der Tabelle 8 ersichtlich, dass die Schnellzüge große Fahrzeitreserven aufweisen. Die Fahrzeitreserven müssen jedoch für die Aufstellung eines Taktfahrplanes auf dieser Strecke in Anspruch genommen werden. Falls dies nicht möglich ist, kann durch Erhöhung der Streckengeschwindigkeit der Halt in Modriča entfallen und die Strecke in einer Stunde befahren werden. Dadurch wären dann nur 2 Vollknoten auf dieser Strecke gegeben, nämlich die Vollknoten Doboj und Bosanski Šamac. Um diese Überlegung zu verifizieren, müsste eine weitere Simulation mit der adaptierten Infrastruktur durchgeführt werden. Die Regionalzüge, die auf dieser Strecke verkehren weisen an manchen Stellen eine zu geringe Fahrzeitreserve hinsichtlich der UIC Empfehlung auf. Deshalb wurden Halte zwischen den Stationen Koprivna Gornja und Srpska Kostajnica in der Richtung Bosanski Šamac-Doboj aufgelassen. Aus der Abbildung ist außerdem ersichtlich, dass die Regionalzüge, die Doboj verlassen, vor der vollen Stunde aus der Station abfahren müssen und die Regionalzüge, die in Doboj einfahren, nach der vollen Stunde ankommen müssen, um den Taktfahrplan erhalten zu können. Diese Problematik könnte durch Erhöhung der Streckengeschwindigkeit gemindert werden.

4.6 Infrastrukturabschnitt Doboj-Banja Luka

Der Streckenabschnitt Doboj-Banja Luka hat eine Gesamtlänge von ca. 96.5 km. Die Eisenbahnstrecke Doboj-Banja Luka wird auf der gesamten Strecke eingleisig geführt. Die Infrastruktur der Strecke Doboj-Banja Luka kann man der Abbildung 25 im Anhang A entnehmen. Dieser Streckenabschnitt verfügt über 12 Bahnhöfe und 14 Haltepunkte. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Eisenbahnstrecke werden sowohl Schnellzüge als auch Regionalzüge eingesetzt. Beide werden von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, angetrieben. Die Schnellzüge verfügen über sechs und die Regionalzüge über drei Waggons.

Mittels Fahrzeitenrechnung wurden die unten angeführten Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf dem Eisenbahnstreckenabschnitt Doboj-Banja Luka definiert.

Die Volknoten sind:

- Banja Luka
- Pristoje
- Doboj

Die Halbknoten sind:

- Jašavka
- Snjegotina

Auf der folgenden Abbildung ist der Taktfahrplan für den Streckenabschnitt Doboј-Banja Luka dargestellt.

Doboј - Banja Luka

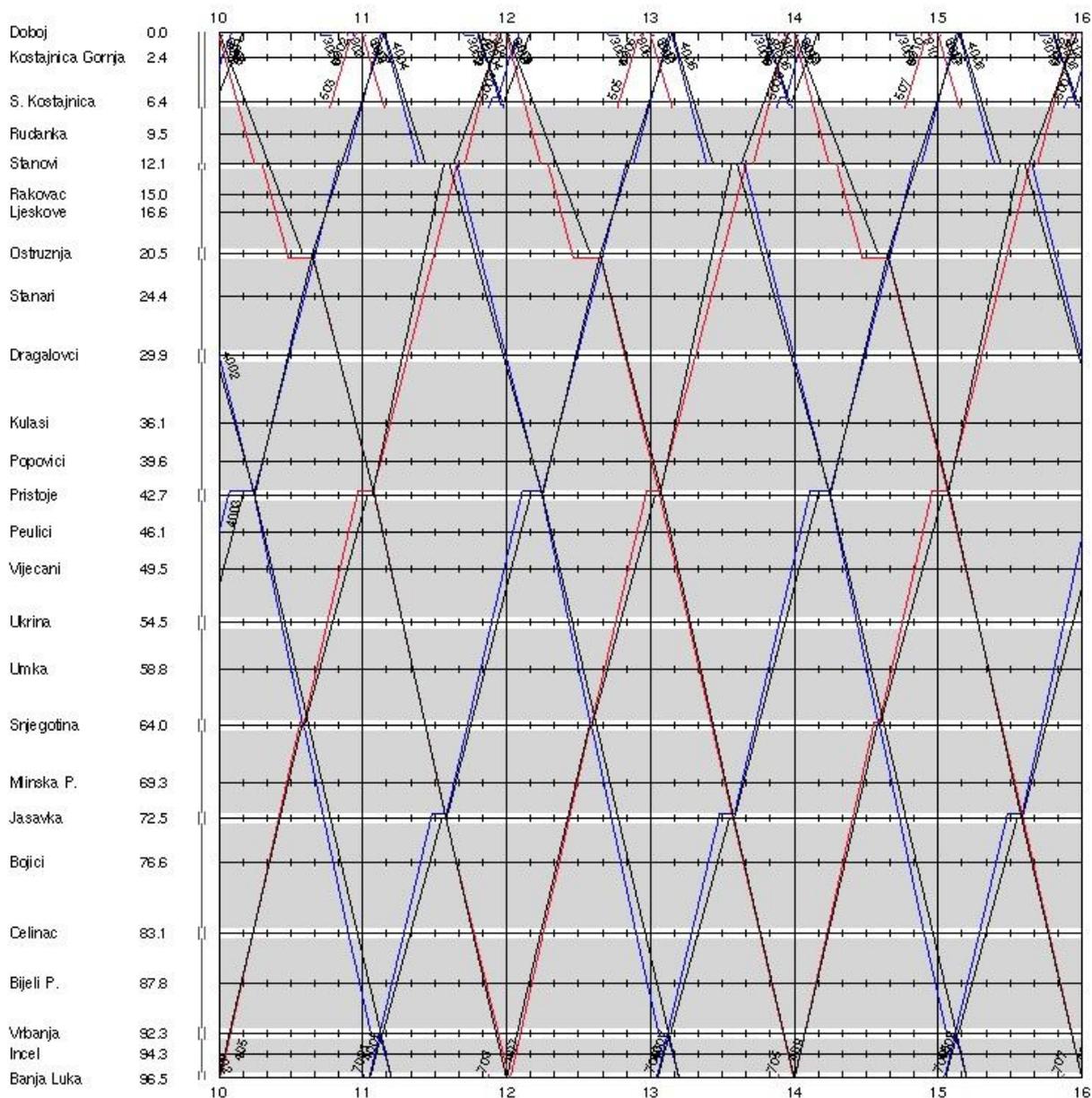


Abbildung 15: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Doboј-Banja Luka

Wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist, wurde auf der Eisenbahnstrecke Doboј-Banja Luka ein Zweistundentakt gewählt. Die Roten Linien in der Abbildung stellen das Fahrverhalten der Schnellzüge und die blauen der Regionalzüge dar.

Basierend auf diesem Taktfahrplan wurden Fahrplanzeiten und die Fahrzeitreserven in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 9: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Banja Luka

ICE	K.406	2-Stunden Takt					K.405	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓	12:00		12:00			↑	11:58	11:57			1.9
Ostruznja/ Pristoje		12:35	12:27	12:39	240	25.8		11:02	10:58	11:04	120	17.6
Jasavka/ Snjegotina		13:34	13:34	13:34	0	0.1		10:34	10:33	10:35	60	1.6
Banja Luka		14:00	14:00			0.0			10:00	10:00		
RE	K.4004	2-Stunden Takt					K.4003	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Doboj	↓	11:09		11:09			↑	11:09	11:08			2.3
Stanovi		11:26	11:23	11:36	600	13.9		10:49	10:49	10:49	0	0.0
Pristoje		12:15	12:15	12:15	0	0.0		10:10	10:04	10:15	300	17.6
Snjegotina/ Jasavka		12:35	12:35	12:35	0	0.0		9:33	9:28	9:35	120	16.2
Banja Luka		13:12	13:11			0.2			9:03	9:03		

Wie in der obigen Tabelle ersichtlich ist, sind die Fahrzeitreserven zwischen den einzelnen Bahnhöfen im Allgemeinen sehr gering. Außerdem muss erwähnt werden, dass sich die Halte der Regionalzüge auf dieser Eisenbahnstrecke rein fahrzeitmäßig nicht ausgehen. Wegen der Zugfolgezeit der Schnellzüge der Eisenbahnlinie Doboj-Bosanski Šamac kann für die Regionalzüge kein Taktknoten in Pristoje gebildet werden. Außerdem kommen die Regionalzüge aus Doboj Richtung erst um 13:11 Uhr in Banja Luka an, was für die weitere Verbindung nach Dobrinja auch nicht vorteilhaft ist. Die Aufstellung eines Taktfahrplanes auf dieser Eisenbahnstrecke erweist sich als sehr schwierig. Der Grund dafür liegt in der geringen Streckengeschwindigkeit und der fehlenden Zugkreuzungsmöglichkeiten. Um den Taktfahrplan besser gestalten zu können, müsste zumindest die Streckengeschwindigkeit erhöht werden und örtlich auch die Infrastruktur zweigleisig ausgebaut werden. Falls die Streckengeschwindigkeit nicht auf der gesamten Strecke erhöht werden kann, wäre zumindest eine Geschwindigkeitserhöhung zwischen Jašavka und Banja Luka vorteilhaft, denn damit würde der Regionalzug vor der vollen Stunde in Banja Luka ankommen und die weitere Verbindung nach Dobrljin würde ungestört bleiben.

4.7 Infrastrukturabschnitt Banja Luka- Dobrljin

Die Gesamtlänge des Infrastrukturabschnittes Banja Luka-Dobrljin beträgt ca. 100.1 km. Dieser Streckenabschnitt wird auf der gesamten Strecke eingleisig geführt. Die Infrastruktur der Strecke Banja Luka Dobrljin ist auf der Abbildung 26 im Anhang A dargestellt. Dieser Streckenabschnitt weist 13 Bahnhöfe und 15 Haltepunkte auf. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 70 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Strecke verkehren sowohl Schnellzüge als auch Regionalzüge. Beide werden von der Lokomotive der Serie 441, welche im Kapitel 2.4.1 näher beschrieben wurde, angetrieben. Die Schnellzüge verfügen über sechs und die Regionalzüge über drei Waggonen.

Mithilfe der Fahrzeitenrechnung wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Eisenbahnstrecke Banja Luka-Dobrljin definiert.

Die Volknoten sind:

- Banja Luka
- Kozarac

Die Halbknoten sind:

- Potkozarje
- Svodna

Die folgende Abbildung zeigt den Taktfahrplan für den Eisenbahnstreckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin.

Banja Luka - Dobrljin

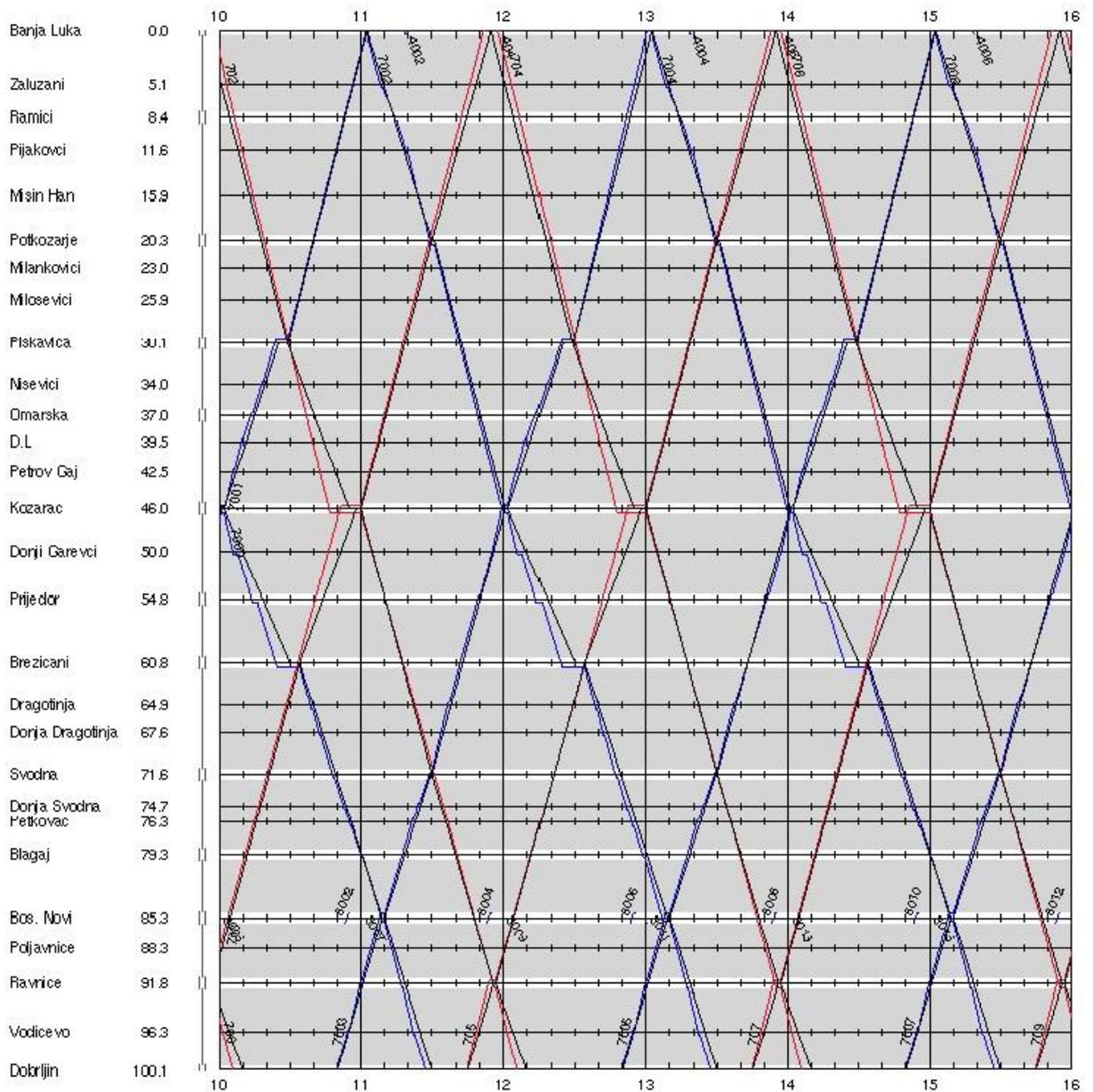


Abbildung 16: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin

Wie man der oberen Abbildung entnehmen kann, wird in diesem Eisenbahnabschnitt ein Zweistundentakt gewählt. Die roten Linien in der Abbildung stellen die Schnellzüge und die blauen die Regionalzüge dar.

Im Folgenden werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven tabellarisch dargestellt

Tabelle 10: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin

ICE	K.704	2-Stunden Takt					K.703	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt(s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Banja Luka	↓		11:55	11:55				15:55	15:52			5.0
Kozarac		12:55	12:47	12:00	300	13.8	14:58	14:51	15:00	120	10.0	
Dobrljin		14:10	14:05			3.3		13:45	13:45			
RE	K.7002	2-Stunden Takt					K.7001	2-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Banja Luka	↓		11:02	11:02				11:02	11:02			0.0
Potkozarje/ Piskavica		11:30	11:29	11:31	60	2.2	10:25	10:23	10:29	240	5.4	
Kozarac		12:01	11:59	12:02	60	3.6	10:01	10:01	10:02	60	0.0	
Brežičani/ Svodna		12:30	12:24	12:34	240	25.0	9:29	9:29	9:30	60	0.4	
Bos.Novi		13:09	13:07	13:10	60	5.7	9:09	9:08	9:10	60	4.9	
Dobrljin		13:30	13:28			10.6		8:50	8:50			

Der Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin verbindet Bosnien und Herzegowina mit Kroatien und stellt die Verbindung nach Zagreb dar. In der Tabelle 10 sind die Ankunftszeiten, die technische Fahrzeiten, die Abfahrzeiten, die Aufenthaltsdauer in den Bahnhöfen, sowie die Fahrzeitreserven in Prozent angegeben. Überall dort, wo die Fahrzeitreserve unter 3 Prozent liegt, wäre eine Geschwindigkeitserhöhung sinnvoll. Es ist zu erwähnen, dass die Regionalzüge, die in Richtung Dobrljin verkehren, keine Halte zwischen den Stationen Milanovići und Kozarac aufweisen, weil ansonsten die Zugkreuzung in Kozarac nicht stattfinden könnte und somit der gesamte Taktfahrplan gestört wäre. Um die Zugkreuzungen ohne Behinderungen abwickeln zu können, mussten Halte der Regionalzüge aus der Gegenrichtung auch aufgelassen werden. Die Halte zwischen Piskavica und Banja Luka wurden aufgelassen, um die Regionalzüge in Banja Luka um kurz nach 11 ankommen lassen zu können. Damit man die Halte der Regionalzüge aus beiden Richtungen in allen Bahnhöfen und Haltepunkten gewährleisten könnte, müsste die Streckenhöchstgeschwindigkeit erhöht werden. Mit der Erhöhung der Streckengeschwindigkeit könnte auch ein Vollknoten im Bahnhof Bosanski Novi möglich sein, der für die Verbindung nach Bihać von Vorteil wäre.

4.8 Infrastrukturabschnitt Bosanski Novi- Bihać

Der Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać weist eine Gesamtlänge von ca. 65.9 km auf. Diese Eisenbahnstrecke wird auf der gesamten Länge eingleisig geführt. Die Infrastruktur der Strecke ist auf der Abbildung 27 im Anhang A ersichtlich. Der Streckenabschnitt verfügt über 7 Bahnhöfe und 4 Haltepunkte. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit auf der freien Strecke beträgt 50 km/h und in den Bahnhöfen 40km/h.

Auf dieser Strecke verkehren wegen der geringen Streckengeschwindigkeit nur Regionalzüge, welche von der Lokomotive der Serie 441 angetrieben. Die Regionalzüge in der Simulation verfügen über drei Waggons.

Mittels Fahrzeitenrechnung wurden folgende Haltestellen als Voll- bzw. Halbknoten für die Aufstellung des Taktfahrplanes auf der Eisenbahnstrecke definiert.

Die Vollknoten sind:

- Bosanski Novi
- Bosanska Krupa
- Bihać

Die Halbknoten sind:

- Blatina
- Cazin-Srbljani

Auf der folgenden Abbildung ist der Taktfahrplan für den Eisenbahnstreckenabschnitt Bosanski Novi- Bihać dargestellt.

Bos. Novi - Bihać

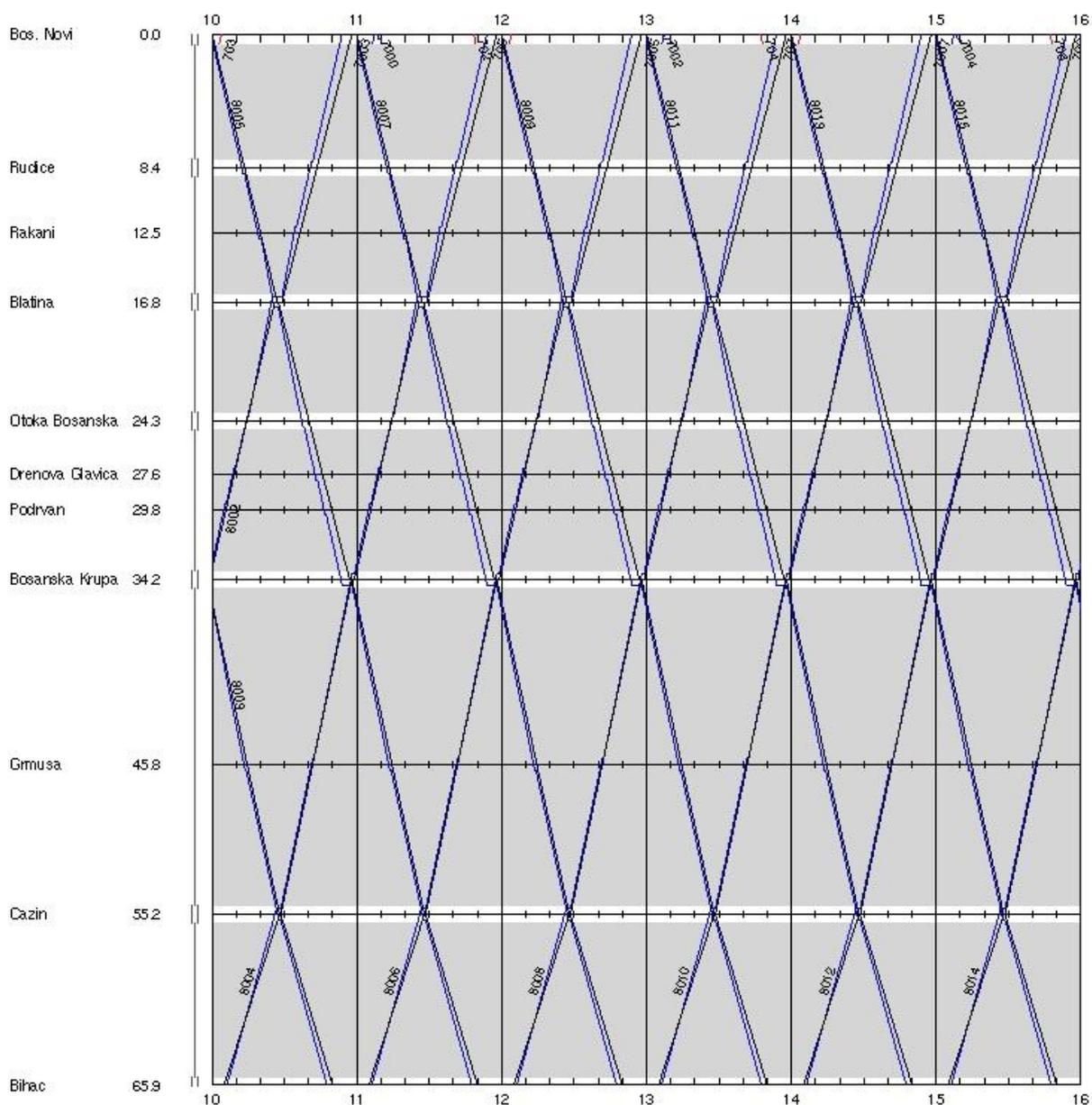


Abbildung 17: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać

Auf dem Bahnabschnitt Bosanski Novi-Bihać wird nur Regionalverkehr geführt. Dieser wird im Einstundentakt abgewickelt.

Im Folgenden werden die Fahrzeiten sowie die Fahrzeitreserven tabellarisch dargestellt

Tabelle 11: Fahrplan in Tabellenform für zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać

RE	K 8004 ↓	1-Stunden Takt					K 8009 ↑	1-Stunden Takt				
		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)		Ank.	Fahrz.	Abf.	Halt (s.)	Res.ca. (%)
Bihać			10:05	10:05				13:50	13:48			7.8
Cazin		10:28	10:26	10:28	30	6.0		13:28	13:27	13:28	30	1.2
Bos.Krupa		10:58	10:58	10:59	60	0		12:57	12:53	12:58	60	11.5
Blatina		11:26	11:25	11:29	180	3.5		12:27	12:25	12:27	30	4.8
Bos.Novi		11:58	11:54			26		12:00	12:00			

Bei diesem eingleisigen Abschnitt werden die Zugkreuzungen zugleich als Halte genutzt. Die Haltezeiten der Regionalzüge in beiden Richtungen betragen zwischen 30-60 Sekunden. Die geringen Fahrzeitreserven können einerseits durch das Auflösen von Halten oder durch Erhöhung der Streckengeschwindigkeit erhöht werden.

4.9 Zusammenführung der Teilergebnisse

Die folgende Abbildung zeigt alle Teilergebnisse, alle Vollstunden- und Halbstunden Knoten werden hier schematisch dargestellt. Die Abbildung zeigt, wie ein integraler Taktfahrplan auf der heute vorhandenen Infrastruktur des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina aussehen könnte.

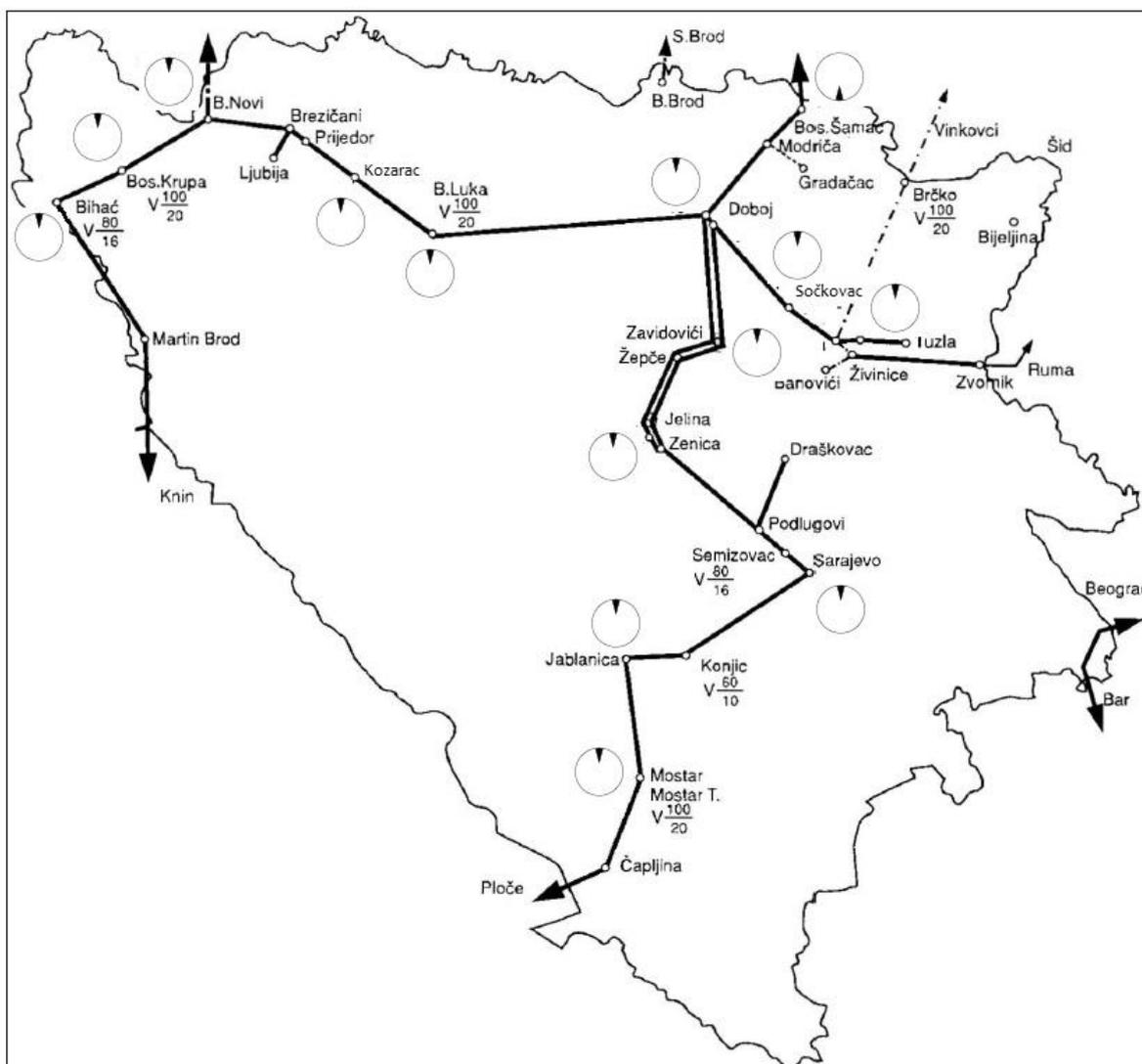


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Ergebnisse

4.10 Vorschläge zur Verbesserung

Die unten angeführte Tabelle zeigt einzelne Eisenbahnabschnitte in Bosnien und Herzegowina sowie die Infrastrukturmaßnahmen die notwendig sind um die Taktfahrpläne die in Kapiteln 4.1 bis 4.8 beschrieben sind, zu ermöglichen.

Tabelle 12: Darstellung der Verbesserungsvorschläge

Infrastrukturabschnitt	Schwachstellen	Verbesserungsvorschläge
1. Sarajevo-Gabela	Fahrzeitreserve kleiner 3 %	Erhöhung der Strecken- höchstgeschwindigkeit
2. Sarajevo-Zenica	Keine Halte der Regional- züge auf dem Abschnitt Kakanj- Zenica	Geschwindigkeitserhöhung auf dem Abschnitt Kakanj- Zenica
3. Sarajevo-Doboj	2 Zwangspunkte: Station Nemila und Station Ševalije	Durch Einführung von Blocksignalen könnten die langen Wartezeiten der Re- gionalzüge in diesen Ab- schnitten reduziert werden.
4. Doboj-Tuzla	Geringen Fahrzeitreserve zwischen Lukavac und Sočkovac	Auflassen von Halten zwi- schen diesen beiden Statio- nen oder Geschwindigkeits- erhöhung

5. Doboj-Bosanski Šamac	Schnellzüge: Große Fahrzeitreserven Regionalzüge: Geringe Fahrzeitreserve	Erhöhung der Streckengeschwindigkeit und Auflösung des Knoten Modriča Erhöhung der Streckengeschwindigkeit und Optimierung der Einfahr- und Ausfahrzeit der Regionalzüge im Knoten Doboj
6. Doboj-Banja Luka	Regionalzüge: Keine Halte möglich, Taktfahrplan in Pristoje gestört und zu späte Ankunft in Banja Luka	Erhöhung der Streckengeschwindigkeit
7. Banja Luka-Dobrljin	Halte der Regionalzüge nicht in allen Bahnhöfen und Haltestellen vorhanden	Erhöhung der Streckengeschwindigkeit
8. Bosanski Novi-Bihać	Geringe Fahrzeitreserven	Auflassen von Halten oder Erhöhung der Strecken-höchstgeschwindigkeit

5. ZUSAMMENFASSUNG

Das Rahmen dieser Diplomarbeit wurde versucht einen Entwurf eines Taktfahrplanes für das Eisenbahnnetz in Bosnien und Herzegowina aufzustellen.

Zuerst wurden mithilfe mehrerer Simulationen die Zugfahrten der Schnellzüge berechnet. Die angenommenen Fahrzeitreserve (5-10% der technischen Fahrzeit) wurden darauffolgend der reinen Fahrzeit aufgeschlagen. Anschließend wurden die Halb- bzw. Vollknoten definiert und die Zugfahrten der Regionalzüge simuliert. Am Ende wurden alle Fahrzeiten des Taktfahrplanes optimiert. Die Untersuchung der in der Einleitung genannten Varianten zeigte, dass sich der Zweistundentakt auf allen eingleisigen Strecken des Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina am besten bewährte. Der Einstundentakt scheiterte meist weil kein signifikanter Unterschied in den Fahrgeschwindigkeiten der Schnell- bzw. Regionalzüge vorhanden war und der Halbstundentakt weil entweder die Zugkreuzungen nicht stattfinden konnten oder zu lange Wartezeiten in Anspruch genommen werden mussten.

In den Kapiteln 4.1 bis 4.8 werden für alle Streckenabschnitte die Entwürfe der Taktfahrpläne dargestellt. Diese Taktfahrpläne werden auf der Abbildung 18 anschließend zusammengefasst. Die Abbildung verdeutlicht wie auf der heutigen Eisenbahninfrastruktur in Bosnien und Herzegowina ein integraler Taktfahrplan aussehen könnte. Im Kapitel 4.10 werden für alle Teilabschnitte einzeln Schwachstellen der jeweiligen Abschnitte dokumentiert und die Verbesserungsvorschläge angeführt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass ein Taktfahrplan bereits im heutigen Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina eingeführt werden kann. Die durch die Simulation resultierenden Fahrzeiten können durch Investitionsmaßnahmen besser harmonisiert werden. Dadurch können in den Abschnitten, die heute keine Fahrzeitreserve aufweisen, zusätzliche Fahrzeitreserven geschaffen werden, die für eine stabilere Betriebsabwicklung förderlich sind. Außerdem würde man durch eine weitere Erhöhung der Streckenhöchstgeschwindigkeit die Halte der Regionalzüge in allen Bahnhöfen ermöglichen können. Zusätzlich können die Voll- und Halbknoten auch minutenscharf realisiert werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] PACHL J., „Systemtechnik des Schienenverkehrs- Bahnbetrieb planen, steuern und sichern“, 5. Auflage, Teubner, Stuttgart [u.a], 2008, S.
- [2] BERDAN H., „Die Machtpolitik Österreich-Ungarns und der Eisenbahnbau in Bosnien-Herzegowina 1872 – 1914“, Diplomarbeit, Universität Wien, Februar 2008
- [3] Eisenbahngesellschaft Föderation von Bosnien und Herzegowina,
<http://www.zfbh.ba>
- [4] Simulation von Eisenbahnnetzen, Applikation OpenTrack, www.opentrack.ch
- [5] „Jahresbericht des Eisenbahnnetzes von Bosnien und Herzegowina“ (Izjava o mreži), Nr.: 639-XII/2009
- [6] „Studie über die TER- Komptabilität des Eisenbahnkorridors Vc in Bosnien und Herzegowina“ (Studija TER-kompatibilnosti željezničkog Koridora Vc u Bosni i Hercegovini)
- [7] <http://www.bahn2000.ch>
- [8] Bahn 21, VCD e.V 2004
- [9] http://www.regionale-schienen.at/0_thema_200806.asp?mid=23
- [10] UIC451-1, „In den Fahrplänen vorzusehende Fahrzeitzuschläge, um die pünktliche Betriebsabwicklung zu gewährleisten-Fahrzeitzuschläge“, 4.Ausgabe, Dez. 2004

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Grundstruktur der Eisenbahngesellschaften in Bosnien und Herzegowina [6].....	12
Abbildung 2: Das heutige Eisenbahnnetz von Bosnien und Herzegowina [3]	15
Abbildung 3: Lokomotive der Serie 441.....	16
Abbildung 4: Zugkraftdiagramm-Lokomotive der Serie 441.....	17
Abbildung 5: Lokomotive der Serie 661.....	17
Abbildung 6: Zugkraftdiagramm-Lokomotive der Serie 661.....	18
Abbildung 7: Integraler Taktfahrplan, Eigenbild	21
Abbildung 8: Simulationsablauf im OpenTrack [4]	24
Abbildung 9: Typischer Aufbau eines Bahnhofes	25
Abbildung 10: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Sarajevo-Čapljina	32
Abbildung 11: Entwurf des Taktfahrplanes für den Abschnitt Sarajevo-Zenica	35
Abbildung 12: Bildfahrplan für den Abschnitt Zenica-Doboj.....	38
Abbildung 13: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Doboj-Tuza.....	41
Abbildung 14: Darstellung des Taktfahrplanes für den Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac	44
Abbildung 15: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Doboj-Banja Luka.....	47
Abbildung 16: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin	50
Abbildung 17: Bildfahrplan für den Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać	53
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Ergebnisse	55
Abbildung 19: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Hauptbahnhof Sarajevo	LXIII
Abbildung 20: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Sarajevo-Čapljina	LXIV

Abbildung 21: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Sarajevo-Zenica	LXV
Abbildung 22: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Doboj-Zenica	LXVI
Abbildung 23: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Doboj-Tuzla	LXVII
Abbildung 24: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac	LXVIII
Abbildung 25: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Doboj-Banja Luka	LXIX
Abbildung 26: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Banja Luka- Dobrljin	LXX
Abbildung 27: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać.....	LXXI

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Eisenbahnabschnitte die zwischen 1885-1942 fertiggestellt wurden	10
Tabelle 2: Übersicht über die verfügbaren Lokomotiven in der Eisenbahngesellschaft der Republika Srpska.....	19
Tabelle 3: Fahrzeitreserve für lokbespannte Reisezüge nach UIC 451-1 [10].....	28
Tabelle 4: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Sarajevo-Čapljina	33
Tabelle 5: Fahrplan in Tabellenform für die zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Sarajevo-Zenica.....	36
Tabelle 6: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Zenica-Doboj	39
Tabelle 7: Fahrplan in Tabellenform für zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Tuzla	42
Tabelle 8: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Bosanski Šamac	45
Tabelle 9: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Doboj-Banja Luka	48
Tabelle 10: Fahrplan in Tabellenform für zwei Schnellzüge und zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin	51
Tabelle 11: Fahrplan in Tabellenform für zwei Regionalzüge auf dem Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać.....	54
Tabelle 12: Darstellung der Verbesserungsvorschläge.....	56

ANHANG A

A 1 OpenTrack

A1.1 Infrastruktur der Eisenbahnnetzes in Bosnien und Herzegowina

A1.1.1 Infrastrukturabschnitt Sarajevo (Hauptbahnhof Sarajevo)

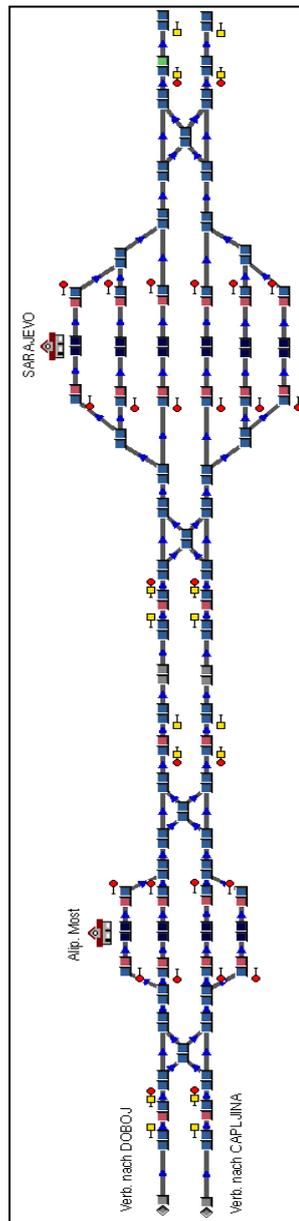


Abbildung 19: Infrastrukturdarstellung im Opentrack: Hauptbahnhof Sarajevo

A1.1.3 Infrastrukturabschnitt Sarajevo-Zenica

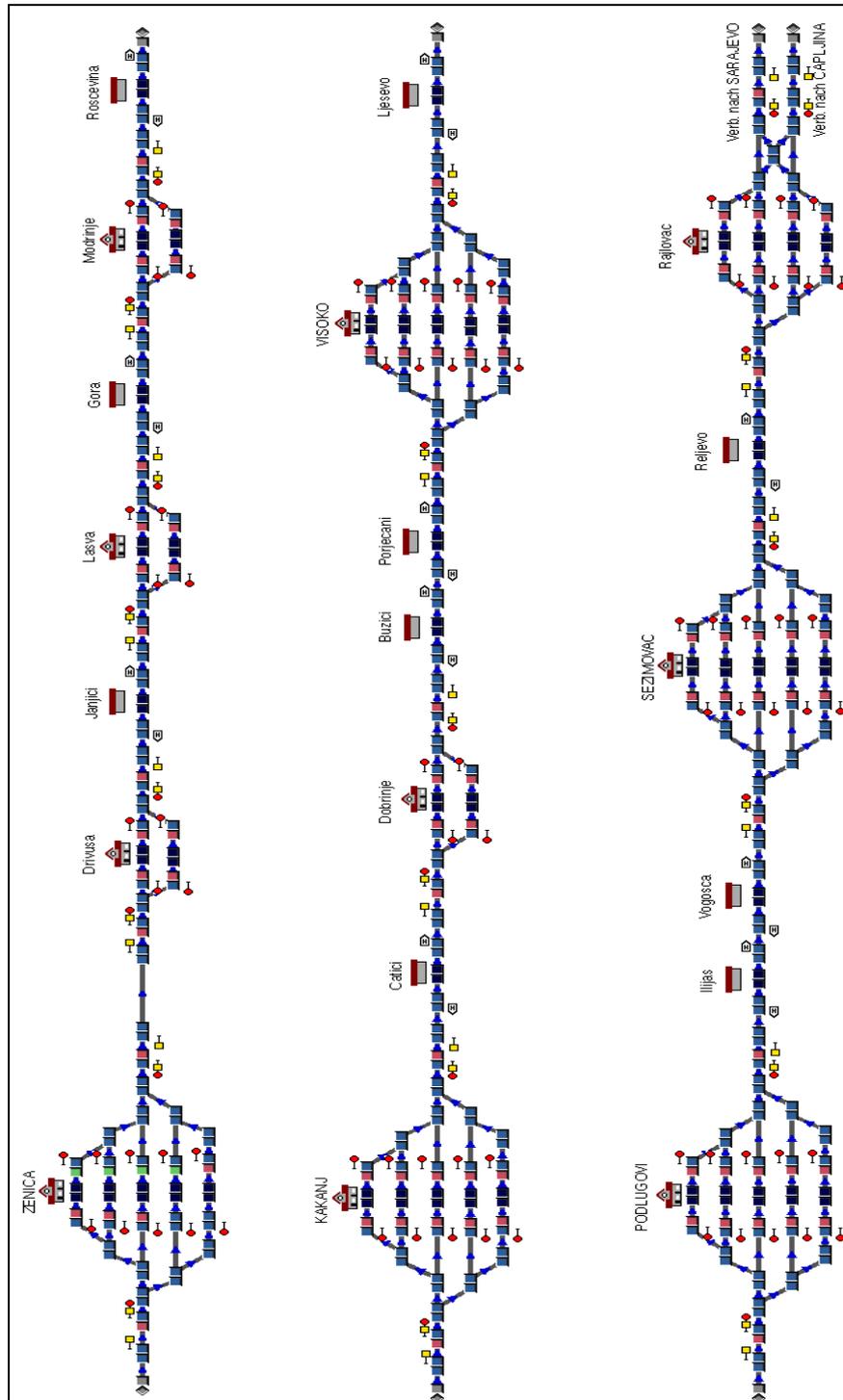


Abbildung 21: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Sarajevo-Zenica

A1.1.4 Infrastrukturabschnitt Zenica-Doboj

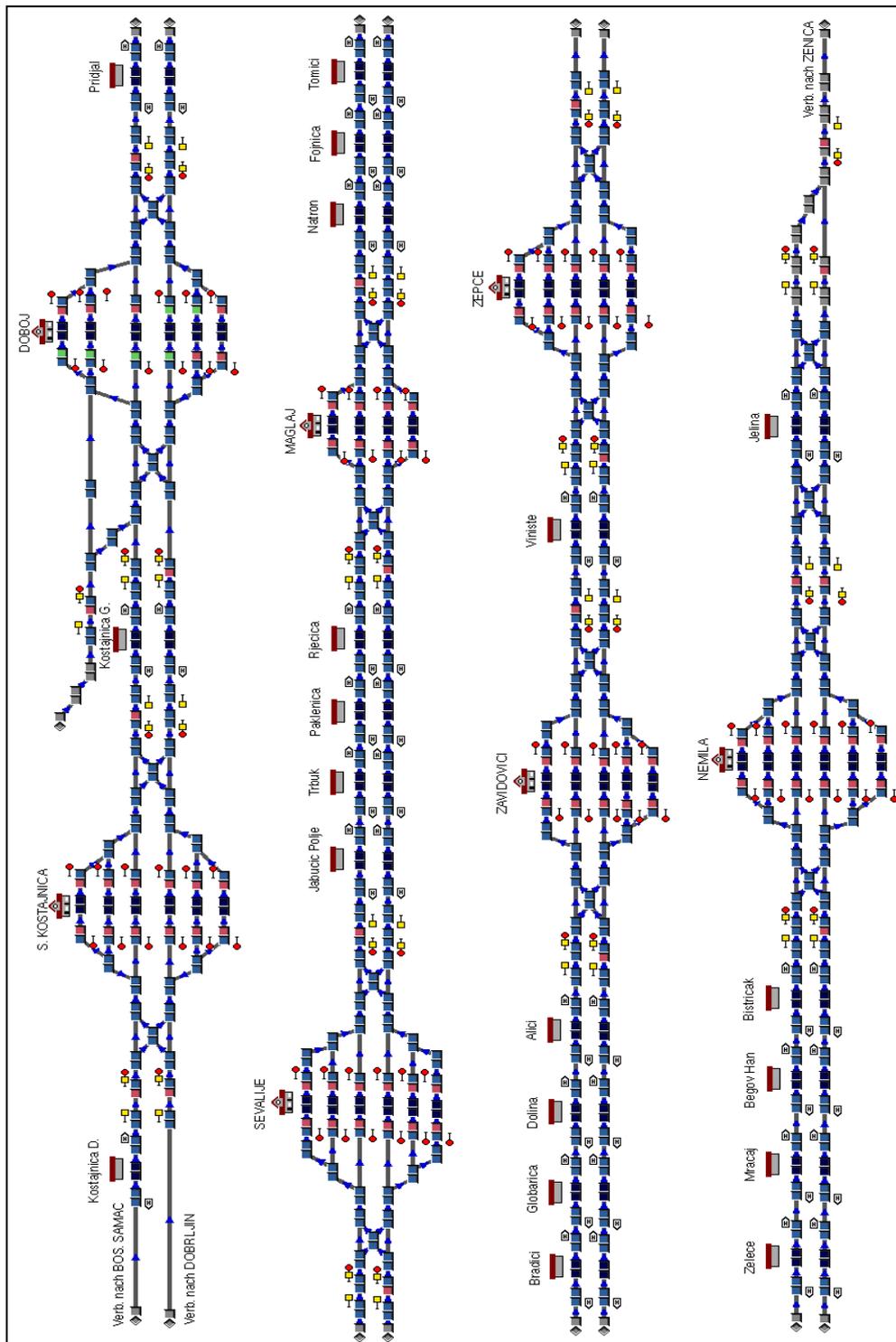


Abbildung 22: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Doboj-Zenica

A1.1.5 Infrastrukturabschnitt Doboј-Tuzla

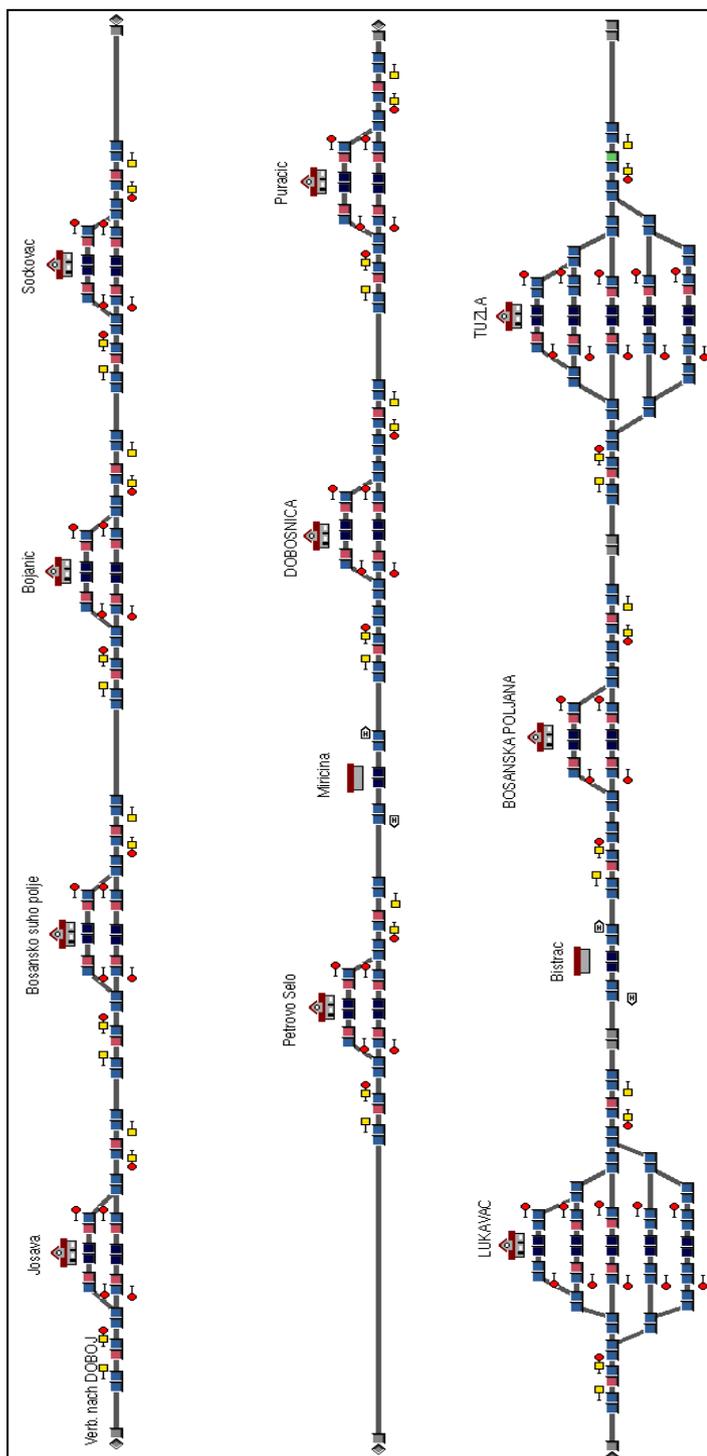


Abbildung 23: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Doboј-Tuzla

A1.1.6 Infrastrukturabschnitt Doboј-Bosnanski Šamac

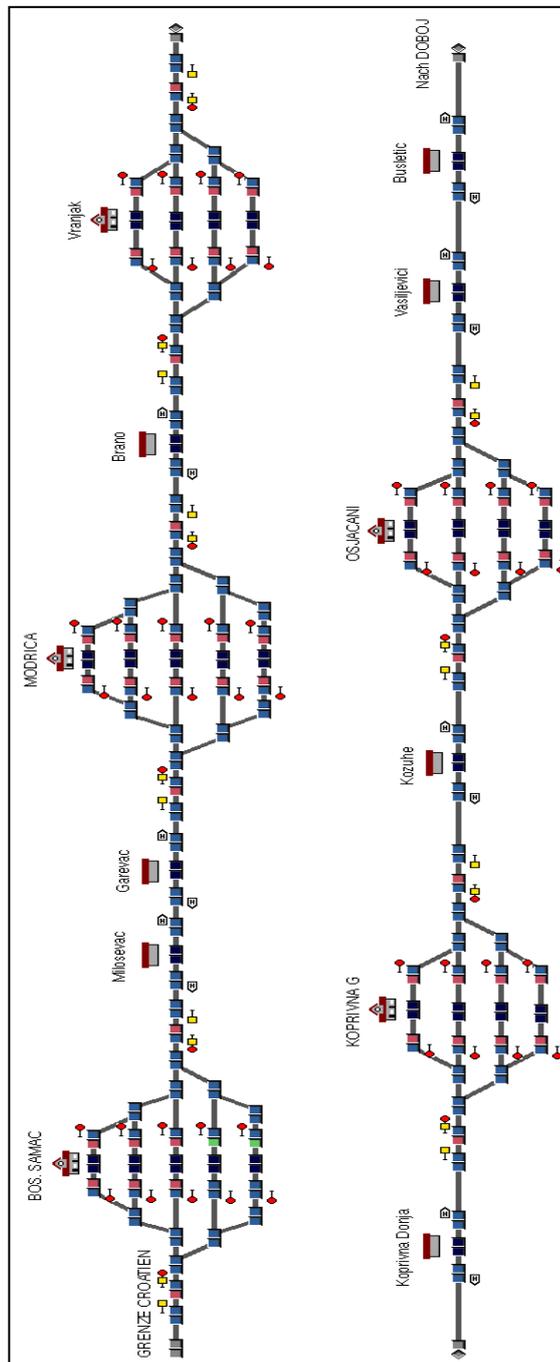


Abbildung 24: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Doboј-Bosnanski Šamac

A1.1.7 Infrastrukturabschnitt Doboј-Banja Luka

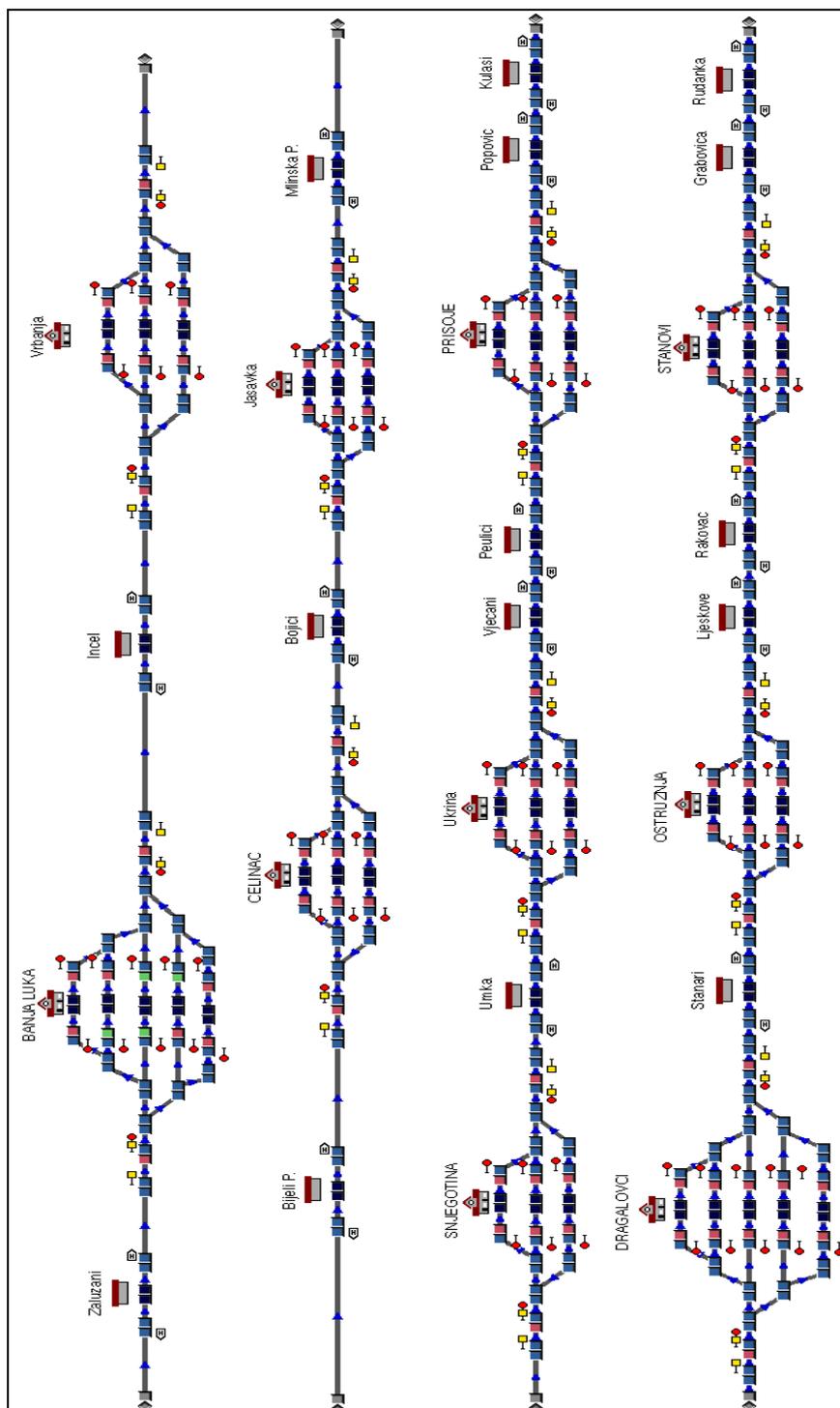


Abbildung 25: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Doboј-Banja Luka

A1.1.8 Infrastrukturabschnitt Doboj-Dobrljin

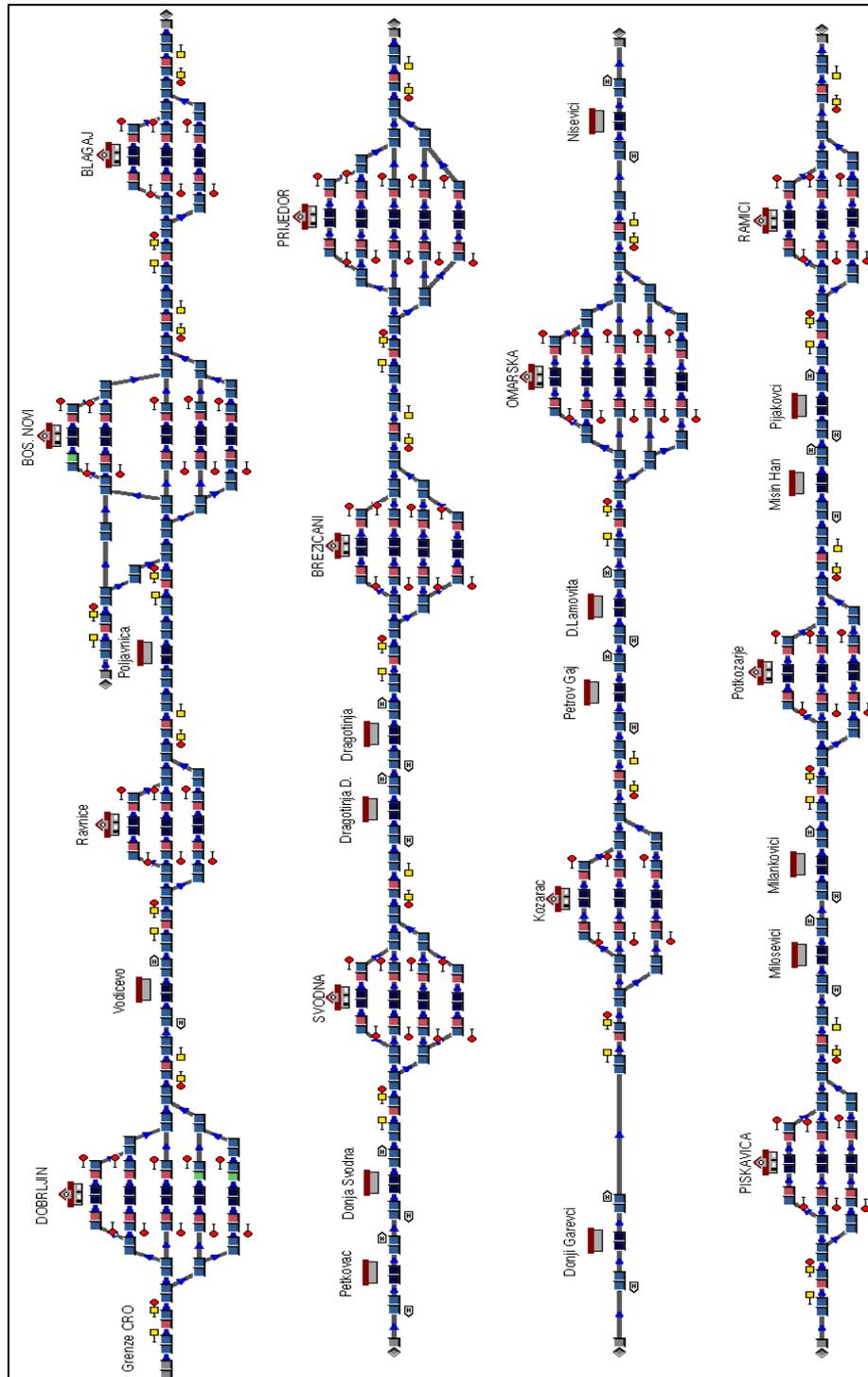


Abbildung 26: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Banja Luka-Dobrljin

A1.1.9 Infrastrukturabschnitt Bosnaski Novi-Bihać

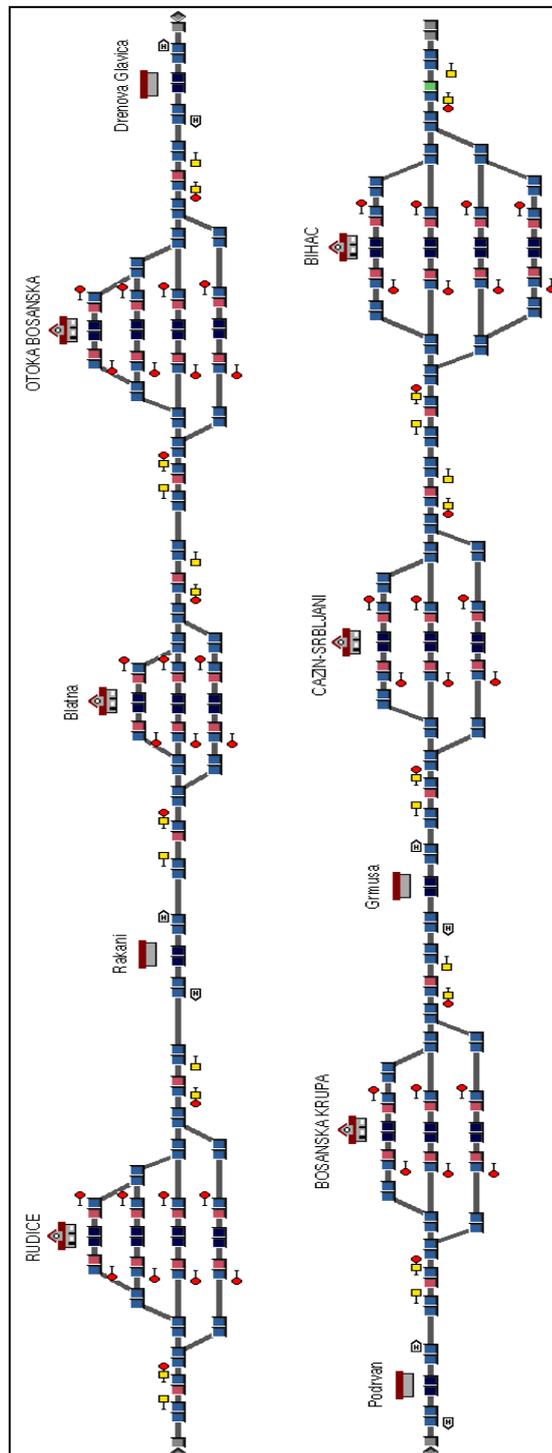


Abbildung 27: Infrastrukturdarstellung im „Opentrack“: Streckenabschnitt Bosanski Novi-Bihać