



DIPLOMARBEIT
Master Thesis

Optionen für Taktfahrpläne im Netz der Serbischen Eisenbahnen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Dr.techn. Andreas Schöbel

E 230 – Institut für Verkehrswissenschaften

Forschungsbereich für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ulf Fischer

E610 / 0425349

Große Schiffgasse 22/22, 1020 Wien

Wien, am 7. März 2012

.....
(Ulf Fischer)

Danksagung

Ich möchte allen Personen, die mich auf meinen bisherigen Lebensweg bis zum Abschluss meines Studiums unterstützt und mir geholfen haben, meinen Dank aussprechen.

In erster Linie danke ich meinem Diplomarbeitbetreuer vom Institut für Verkehrswissenschaften, Andreas Schöbel, für seine Hilfe und die Anregungen, die er mir zukommen ließ. Nach den positiven Erfahrungen bei der Erstellung der Interdisziplinären Seminararbeit war ich sehr froh, auch die vorliegende Diplomarbeit mit seiner Unterstützung erstellen zu können. Ohne seine Hilfe hätte ich auch nicht einen lehrreichen, halbjährigen Studienaufenthalt in Belgrad absolvieren können.

Ein aufrichtiger Dank gebührt Simo Mirković vom Verkehrsinstitut „CIP“ in Belgrad, der mich jederzeit zuverlässig mit den gewünschten Informationen und Unterlagen aus Serbien versorgt hat und ohne den die vorliegende Arbeit nicht ausgeführt hätte werden können.

In diesem Zusammenhang sei auch Sanjin Milinković von der Transportwissenschaftlichen Fakultät der Universität Belgrad gedankt, der als serbischer Eisenbahnexperte die vorliegende Arbeit mit großem Interesse begutachtete.

Meinen Studienkolleginnen und –kollegen aus den verschiedenen Fachschaften und insbesondere dem BIZ danke ich für die schönen Jahre, die ich mit ihnen verbringen durfte. Speziell erwähnen möchte ich hier Bianka und Peter, mit denen ich gemeinsam zwei Jahre im Vorsitz der HTU war und die in jener Zeit meine innigsten Vertrauten an der Universität waren.

Meiner Freundin Jojo danke ich für die moralische Unterstützung während des Verfassens dieser Arbeit, dass sie mich stets bestmöglich motiviert hat und für die Geduld, wenn ich wieder einmal mehr Zeit in das Analysieren von Fahrplänen gesteckt habe, als es ihr eigentlich lieb war.

Mein Großvater Hugo und insbesondere meine Eltern Monika und Hubert haben mich Zeit meines Lebens selbstlos finanziell und moralisch unterstützt und stets mein Interesse für Technik und insbesondere die Eisenbahn gefördert. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Kurzfassung

Der Fahrplan ist das zentrale Lenk- und Steuerungselement des Eisenbahnbetriebes. Durch ihn werden sämtliche direkte und indirekte Ausgaben wie Triebfahrzeugbedarf, Personalbedarf und Betriebskosten definiert, er ist jedoch auch maßgeblich für die Einnahmen, da die Inanspruchnahme von Zugverbindungen in sehr großem Maße vom verfügbaren Zugsangebot, den Fahrzeiten sowie der Attraktivität von Umsteigeverbindungen abhängig ist.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, basierend auf dem derzeitigen Erscheinungsbild des Eisenbahnnetzes der Republik Serbien einen Vorschlag für ein funktionierendes Taktfahrplankonzept zu erarbeiten. Dabei soll insbesondere eine gute Betriebsqualität – also geringe Verspätungen, eine ausreichende Anzahl an Zugverbindungen sowie kurze Umsteigezeiten – im Zentrum der Untersuchungen stehen.

Der erste Teil beschäftigt sich mit einer Aufarbeitung der historischen und politischen Einflüsse, allen voraus die Auswirkungen der drei großen kriegerischen Auseinandersetzungen im 20. Jahrhundert, deren Folge das heutige Schienennetz in Serbien und seine Gestalt ist. Darauf aufbauend wird im zweiten Teil dieser heutige Zustand analysiert und aufgezeigt, wo die Schwachstellen sowie die derzeitigen Investitionsschwerpunkte liegen.

Im dritten Teil wird im Rahmen der Erstellung des Fahrplankonzepts der Fokus auf rasch umsetzbare, kostengünstige Möglichkeiten der Attraktivitätssteigerung gelegt. Kostspielige Infrastrukturvorhaben wie die Ertüchtigung des gesamten Netzes auf 160 km/h, die Zulegung eines zweiten Streckengleises auf zahlreichen Abschnitten sowie die Anschaffung moderner Triebfahrzeuge werden vorerst nicht berücksichtigt.

Im Gegenzug wird jedoch untersucht, welche Verbesserungen des Angebots und der Betriebsqualität mit möglichst geringen Investitionen möglich sind. Es zeigt sich, dass mit der Koordinierung der Fahrpläne für die einzelnen Strecken sehr gute Umsteigeverbindungen zu realisieren sind, mit denen sich die Gesamtreisezeit deutlich reduzieren lässt. Gepaart mit einem Zwei-Stunden-Takt und somit (je nach Linie) sechs bis acht Verbindungen pro Tag und Richtung lässt sich ein attraktives Angebot realisieren, das in erfolgreiche Konkurrenz zum Autobusverkehr treten kann.

Die Wahl des Zwei-Stunden-Takts am gesamten Netz ergibt sich aus dem Spagat zwischen vorhandener Infrastruktur und Fahrbetriebsmitteln sowie nötigem Angebot, um eine nachhaltige Attraktivitätssteigerung des Eisenbahnsystems zu erzielen. Ein (wünschenswerter) Stundentakt würde zahlreiche Neuanschaffungen am Rollmaterialektor bedingen und auch diverse Infrastrukturausbauten notwendig machen. Die Integration des im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande betrachteten Regionalverkehrs führt jedoch zu einer weiteren Angebotsverbesserung.

Zum Abschluss wird das erarbeitete Taktfahrplankonzept mittels der Betriebssimulationssoftware OpenTrack detailliert untersucht und nochmals überarbeitet. Dabei wird das gesamte Netz unter unerheblichen Vereinfachungen abgebildet und die Zugfahrten simuliert. Damit sind nicht nur genaue Fahrzeitenrechnungen, sondern auch die Erstellung von konfliktfreien Fahrplänen sowie umfassende Analysen der Infrastruktur und des rollenden Materials möglich. Die Ergebnisse der Betriebssimulation werden ausführlich dargestellt und dienen gleichzeitig als Input für eine weitere Verbesserung des Fahrplankonzeptes.

Abstract

Timetables are key control elements for railway operations. They determine all ongoing costs that arise for railway and even infrastructure companies like personnel costs and those for traction units. One should bear in mind that timetables also have a great effect on a railway company's revenue, because the utilization of train services depends largely on the number of available trains, travel times and possibilities for changing trains.

The goal of this thesis is to develop and present a fully functioning system of integrated timetables, with Serbia's present railway network serving as a basis for discussions. Consequently, research into improving the level of operational quality resulting primarily in a low number of delays, a high number of train connections and short transfer times, makes up the core of this paper.

Within its first part, historical and political influences on the railway network in today's Serbia are discussed, above all those of three military conflicts during the 20th century. Initially, those conflicts' impact on various aspects of the country's track system, its state of repair and that of stations as well as other infrastructure elements are examined. An in-depth description of today's situation takes up the second part of the study. Here is also where the current main focus of investments is dealt with and some sore spots are pointed out.

Within the framework of timetable development in the third part, the focus is placed on economical opportunities which can be quickly implemented to increase the utilization of railways. However, certain comparatively expensive infrastructure projects, such as the raising of maximum speed to 160 km/h on the entire network, the construction of a second track on numerous sections and the acquisition of new engines, are not taken into account.

In return, an attempt has been made to explore what improvements in supply and operational quality can be made with as little investment as possible. It is demonstrated that by coordinating timetables good transit connections for individual routes can be created and that the overall travel time can also be significantly reduced. Coupled with a two-hour-interval, that is six to eight trains (depending on the line) per day and direction, an attractive offer for customers can be introduced, which may successfully compete with buses.

The fact that it is the two-hour-interval that has been decided on is due to an attempt to perform the balancing act between working out ways to increase the attractiveness of railway networks while making best use of the modest rolling stock and infrastructure which are now available. One must not forget that a one-hour-interval would at least at present not be feasible, because it would involve buying a huge number of new wheeled vehicles and building some new tracks and stations. The integration of regional rail services into an improved timetable concept would further enhance the quality of the entire rail system of any country, but this is only lightly touched on in the paper.

Finally, an intensive simulation of the developed concept of an integrated timetable is run with OpenTrack, a computer programme for simulating railway networks and their operations. In the process the entire network is presented with some negligible reductions and following that train operations can be simulated. With the help of this software, accurate calculations of travel times, the creation of conflict-free timetables and full analyses of infrastructure and rolling stock are possible. The results and conclusions of this simulation are then presented in detail. They can at the same time serve as input into studies for providing further improvements in timetable programmes.

Kratki sažetak

Red vožnje je centralni element za kontrolišanje i upravljanje železničke operacije. On definiše sve troškove kao zahtev lokomotiva, zahtev osoblja kao i operativne troškove. Značajno je ali za prihode, zato što korišćenje vozova veoma zavisi od ukupnog broja veza, vremena potovanja i atraktivnosti menjanja.

Zadatak ovog diplomskog rada je razraditi predlog za koristan koncept reda vožnje po taktu na osnovu savremene železničke mreže u Republici Srbiji. U fokusu ispitivanja je dobro kvalitet operacije, tako malo kašnjenja, dovoljan broj voznih veza i kratko vreme da se prebacite.

Prvi deo se bavi obrada istorijskih i političkih uticaja, posebno uticaji tri velikih vojna sukoba na 20. veka. Rezultat ovih stvari je savremena mreža železnice u Srbiji i njena svojina. Posle, u drugom delu rada, je analiziran savremeno stanje Železnica Srbije i pokazan gde su ranjivosti mreže i fokusi investicije.

U trećem delu, u okviru izrade koncepta reda vožnje po taktu je fokus na mogućnostima povećanja atraktivnosti, koje su ekonomično i brzo implementirano. Skupi produžetki kao povećanje brzine na 160 km/h u celoj mreži, izgradnje drugog koloseka na različitim sekcijama i kupovina modernih lokomotiva ne se trenutno smatraju.

Iako je ispituje, koja poboljšanja ponude i operativnog kvaliteta su moguće sa najnižim mogućim investicijama. Uz koordinaciju redova vožnje posebnih pruga, veoma dobro veze između gradovima (delimično sa promenama) su moguće. Ukupno vreme putovanja može biti smanjena. Zajedno sa dvosatnim taktom i tako (zavisan od linije) šest do osam veza na dan i smer, atraktivna ponuda je realizovan, koja je u konkurenciji sa autobusima.

Ima razlog za izbor dvosatni takt: To je idealan kompromis između infrastrukture i voznih sredstva na raspolaganju na jednoj strani i neophodne ponude da se poveća atraktivnost na drugoj. Jednosatni takt samo je moguć ako mnoge nove lokomotive i kole se kupuju i infrastruktura je poboljšana. Zajedno sa lokalnim prevozom, koji u okviru tog rada ne se smatra, se postiže dalje poboljšanje ponude.

Na kraju ima blizi pregled razvijenog koncepta reda vožnje po taktu pomoću programu „OpenTrack“, koji je program za simuliranje železničkih mreža i operacija vozova. Cela mreža je simuliran sa nekim nebitnim uprošćavanjima i svi vozovi prolaze kroz onaj mrežu. Tačni računi vremena putovanje su mogući i takođe stvaranje redova vožnje bez sukoba i sveobuhvatne analize infrastrukture i voznih sredstva. Iz toga sledi prezentacija rezultata simulacije operacije vozova i rezultati su baze za dalje poboljšanje.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	2
Kurzfassung.....	3
Abstract.....	4
Kratki sažetak.....	5
Inhaltsverzeichnis	6
1 Motivation und Einleitung	8
2 Entwicklung der Eisenbahn auf dem Gebiet Serbiens von 1856 bis 2011	9
2.1 Die Entwicklung bis zum ersten Weltkrieg	9
2.2 Vom Ersten bis zum Zweiten Weltkrieg	11
2.3 Die Entwicklung nach dem Zweiten Weltkrieg	13
2.4 Die Zeit nach dem Zusammenbruch von Jugoslawien	17
3 Der aktuelle Zustand der Eisenbahnen in Serbien	18
3.1 Das Streckennetz der Serbischen Eisenbahnen	18
3.2 Erhaltungszustand des Netzes.....	20
3.3 Fahrbetriebsmittel	24
3.4 Politische Rahmenbedingungen des Verkehrssystems	26
3.5 Laufende Maßnahmen.....	27
4 Angebotsverbesserung im Personenverkehr durch Taktfahrpläne.....	29
4.1 Grundlegendes.....	29
4.2 Der Integrale Taktfahrplan.....	30
4.3 Erstellung von Taktkonzepten.....	33
4.4 Erstes Taktkonzept.....	39
4.5 Zweites Taktkonzept.....	43
4.6 Vergleich der Taktkonzepte	47
4.7 Bedarfsplanung und Investitionen	48
5 Bahnbetriebliche Simulationsstudie und Anpassung des Taktkonzepts	51
5.1 Grundlagen der Betriebssimulation	51
5.2 Fahrdynamische Zusammenhänge.....	52
5.3 Die Simulationssoftware OpenTrack.....	54
5.4 Simulation des Zweiten Taktkonzepts mit OpenTrack	58
5.5 Ergebnisse der Betriebssimulation.....	61

6	Fazit und Ausblick	65
	Abkürzungsverzeichnis.....	66
	Abbildungsverzeichnis	67
	Tabellenverzeichnis.....	69
	Anhang.....	74
	OpenTrack - Gleistopologie	74
	Grafische Fahrpläne.....	75
	Weitere Diagramme	78
	Technische Daten der eingesetzten Triebfahrzeuge	79

1 Motivation und Einleitung

Zahlreiche Eisenbahnreisen durch und ein mehrmonatiger Auslandsaufenthalt in Serbien erweckten im Verfasser den Wunsch, das zweifelsohne hohe, jedoch derzeit wohl nicht optimal genutzte Potential der Eisenbahninfrastruktur in diesem südosteuropäischen Land zu erforschen und – wo es möglich erschien – besser auszunutzen.

Auf Grund der historischen Entwicklung der Balkanregion hat sich das Eisenbahnwesen in den südosteuropäischen Staaten anders entwickelt als in Mitteleuropa. Oft wechselnde Grenzziehungen, unterschiedlichste politische und wirtschaftliche Systeme sowie eine andere Priorisierung innerhalb des Verkehrssystems bzw. dessen Teilbereiche haben zu einer Situation geführt, in welcher der straßengebundene (öffentliche und private) Verkehr nahezu eine Monopolstellung gegenüber der Schiene einnimmt.

Viele der Unzulänglichkeiten im heutigen Eisenbahnbetrieb sind zwar offensichtlich und daher wird oftmals auch an deren Lösung schon gearbeitet, dennoch stellen sich Erfolge – wenn überhaupt – nur sehr schleppend ein. Ziel der Arbeit ist nun, aufbauend auf einer Bestandsanalyse des serbischen Eisenbahnnetzes und des derzeitigen Betriebes, ein zukunftsorientiertes Taktfahrplansystem für die innerserbischen und internationalen Magistralen zu entwickeln. Die Beschränkung auf den Personenfernverkehr ist dabei dem lediglich hierzu vorliegenden, authentischen Datenmaterial geschuldet.

Im Rahmen der Bestandsanalyse erfolgt eine geografische, historische, politische und technische Untersuchung des Eisenbahnnetzes in Serbien. Es wird dargestellt, wo sich Schwachstellen befinden, andererseits werden aber auch Potentiale aufgezeigt. Bereits laufende Ausbauprojekte finden ebenso Niederschlag wie (unter den derzeitigen Rahmenbedingungen) utopisch anmutende Generalsanierungsprojekte des gesamten Schienennetzes.

Im nächsten Schritt wird analysiert, wie mit möglichst geringen Investitionen der größtmögliche Nutzen erbracht werden kann. Hier stellt der Taktfahrplan für den Personenfernverkehr das derzeitige Nonplusultra dar, da er die Gesamtreisezeiten deutlich reduziert und im Prinzip beinahe ohne vorhergehende Ausbaumaßnahmen eingeführt werden kann. Lediglich absolut unabdingbare Infrastrukturmaßnahmen werden vorgeschlagen, der Taktfahrplan wird aber zur Gänze auf der Basis des Bestandsnetzes erarbeitet.

Das so erstellte Taktkonzept wird in einem zweiten Iterationsschritt umfassend analysiert und in diversen Punkten verbessert, so dass es allen technisch ausführbaren Möglichkeiten genügt. Den dritten Iterationsschritt stellt die Betriebssimulation dieses Konzeptes mittels der Software OpenTrack dar. Dabei wird besonders auf die Fahrzeitenrechnung Bedacht genommen, so dass die errechneten Fahrpläne realitätsnahe getestet werden können. Die Ergebnisse werden in Form von Übersichtsnetzplänen, Fahrplantabellen, Verspätungsstatistiken etc. optisch aufbereitet und grafisch veranschaulicht.

Während der Erstellung besteht intensiver Kontakt zu mehreren serbischen Eisenbahnexperten, um einerseits wichtigen Input zu erhalten und andererseits die Zwischenergebnisse stets überprüfen zu können. Gemeinsam mit den vor Ort befindlichen Fachmännern werden die Schlüsse der Arbeit auf Plausibilität geprüft und, falls es notwendig erscheint, punktuell nachgebessert. Dies trägt dazu bei, die praktische Relevanz der Arbeit zu erhöhen.

2 Entwicklung der Eisenbahn auf dem Gebiet Serbiens von 1856 bis 2011

2.1 Die Entwicklung bis zum ersten Weltkrieg

Die Entstehung des Eisenbahnnetzes auf dem Gebiet der heutigen Republik Serbien ist eng mit der Geschichte des Landes verbunden. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts war nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der heutigen Republik Serbien bereits eigenständig (Fürstentum Serbien, ab 1878 Königreich), der Norden (Vojvodina) war Teil der österreichisch-ungarischen Monarchie, Gebiete im Süden gehörten zum osmanischen Reich. Diese Situation ist in Abbildung 1 gezeigt, eine Karte des Schienennetzes (zur Orientierung) findet sich in Abbildung 3.



Abbildung 1: Karte Serbiens von der Unabhängigkeit 1878 bis zur ersten Balkankrieg 1912 (1)

Als damals (in der Region) technisch am weitesten fortgeschrittenes Land baute Österreich-Ungarn ab den Fünfzigerjahren des neunzehnten Jahrhunderts Eisenbahnstrecken bis in seine Grenzregionen. Diese mussten jedoch hauptsächlich militärstrategischen Anforderungen der Besatzungsmacht genügen und dienten erst in zweiter Linie der Erschließung des Landes. Die ersten Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 117 Kilometern finden sich so nach Jasenovo und Kikinda im Banat und wurden im Zeitraum von 1856 bis 1858 eröffnet. (2)

Die erste Strecke von nennenswerter Länge (115 km) wurde 1869/70 zwischen Szeged und Bogojewo in Betrieb genommen, danach setzte in den achtziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts (vergleichbar mit anderen Regionen der Welt) ein Aufschwung im Eisenbahnbau ein. 1883 war Novi Sad an das Eisenbahnnetz angeschlossen und am 15. September 1884 schließlich war die eigentliche Geburtsstunde der Eisenbahn in Serbien. Die Strecke von der damaligen Staatsgrenze bei Zemun (heute ein Stadtteil von Belgrad) bis zum neuen Belgrader Hauptbahnhof sowie die 244 km lange Strecke von Belgrad nach Niš wurden eröffnet. Die Errichtung wurde von der französischen Union générale geplant und von einer ihr unterstellten Aktiengesellschaft errichtet.

Diese Strecke war die erste Bahnlinie innerhalb der damaligen serbischen Grenzen und als solche von besonderer Bedeutung für das junge Königreich. Unmittelbar nach der Eröffnung wurden zahlreiche weitere Strecken erbaut, etwa von Velika Plana nach Smederevo oder von Lapovo nach Kragujevac. Bis 1888 wurde Niš auch mit der bulgarischen Grenze bei Caribrod (heute Dimitrovgrad) und der damaligen osmanischen Grenze bei Ristovac verbunden, was ebenfalls eine der Hauptinteressen der europäischen Großmächte war. Durch die Anschlüsse mit Sofia und Skopje über diese Strecken wurde der Donau-Morava-Korridor mit diesem 19. Mai 1888 die wichtigste Verkehrsverbindung zwischen Orient und Okzident und ist dies (mit kurzen kriegsbedingten Unterbrechungen) bis heute geblieben. (3)

Die in späterer Folge wichtigste Bahnstrecke Jugoslawiens, der Save-Korridor Zagreb – Belgrad, wurde nach fast zehnjähriger Bauzeit 1891 eröffnet, genoss aber aus politisch naheliegenden Gründen eine sehr nachrangige Priorität in der ungarischen Reichshälfte. Organisatorisch ist zu sagen dass bereits sehr früh eine Verstaatlichung der Eisenbahnen durchgeführt wurde. Die Gesellschaft der serbischen Staatsbahnen – Srpske Državne Železnice – wurde 1889 in Belgrad gegründet. (3)

Bis 1900 entstanden auf dem Gebiet der heutigen Republik Serbien 2180 Kilometer Normalspurbahnen, der Großteil davon in der Vojvodina. Im Königreich Serbien blieb der Infrastrukturbau vorerst auf das Moravatal und dessen Seitentäler beschränkt, auf Grund der Topografie und der damit verbundenen Kosten wurden abseits davon lediglich Schmalspurbahnen (760 mm Spurweite) errichtet. Bis zum Beginn des Ersten Weltkriegs entstanden insgesamt weitere 435 km Normalspur- und 543 km Schmalspurbahnen. (Tabelle 1)

Tabelle 1: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur bis zum Ersten Weltkrieg – Eigene Adaptierung nach (3)

Strecke	Eröffnungsdatum	Länge
Staatsgrenze bei Jama – Jasenovo – Staatsgr. b. Bazijaš	1.11.1856	27,5 km
Staatsgr. b. Aranđelovo – Kikinda – Staatsgr. b. Jimbolia	15.11.1857	54,0 km
Staatsgr. b. Batin – Vršac – Jasenovo	20.7.1858	35,5 km
Horgoš – Subotica – Sombor – Staatsgr. b. Bogojevo	20.12.1870	115,0 km
Staatsgr. b. Kelebia – Subotica – Novi Sad	5.3.1883	104,6 km
Kikinda – Dragutinovo – Zrenjanin	8.7.1883	67,7 km
Novi Sad – Zemun	10.12.1883	71,4 km
Indija – Sr. Mitrovica	10.12.1883	42,0 km
Zemun – Beograd	15.9.1884	5,7 km
Beograd – Niš	15.9.1884	243,5 km
Niš – Vranje	13.9.1886	110,6 km
Velika Plana – Smederevo	22.11.1886	44,4 km
Lapovo – Kragujevac	15.3.1887	29,2 km
Niš – Pirot	13.11.1887	72,9 km
Vranje – Staatsgr. b. Ristovac	19.5.1888	12,0 km
Pirot – Staatsgr. b. Caribrod (heute: Dimitrovgrad)	13.8.1888	31,0 km
Subotica – Senta – Bečej	14.11.1889	76,2 km
Bečej – Novi Sad	14.11.1889	64,8 km
Sr. Mitrovica – Staatsgr. b. Šid	7.10.1891	40,2 km
Zrenjanin – Pančevo	9.4.1894	65,4 km
Sombor – Novi Sad	14.9.1895	91,2 km
Stalać – Kruševac	15.06.1909	14,6 km
Zaječar – Prahovo	14.06.1914	76,0 km
Zaječar – Knjaževac (bereits während dem 1. Weltkrieg erbaut)	28.01.1915	43,0 km

In Folge der Balkankriege 1912/13 verlor das osmanische Reich große Gebiete am Westbalkan. Konkret handelte es sich um Kosovo und Mazedonien sowie kleinere Gebiete um Preševo, die dem Königreich Serbien zugeschlagen wurden. Serbien war somit durch die Bahnlinie Niš – Skopje – Thessaloniki direkt mit dem verbündeten Griechenland verbunden. Weitere Vorteile in eisenbahntechnischer Sicht konnten daraus jedoch nicht erreicht werden, da bis auf zwei Stichbahnen damals keine nennenswerten Infrastrukturbauten in Mazedonien und dem Kosovo errichtet wurden.

2.2 Vom Ersten bis zum Zweiten Weltkrieg

Der Erste Weltkrieg, der mit der österreichischen Kriegserklärung an Serbien am 28. Juli 1914 seinen Anfang nahm, veränderte die Situation am Balkan gravierend. Nach starken Rückschlägen zu Beginn eroberte die serbische Armee das Land im Verlauf des Krieges zurück und im Oktober 1818 wurde ein gemeinsamer Staat der Serben, Kroaten und Slowenen proklamiert. Die Vojvodina (Srem sowie ein Großteil von Banat und Bačka) kam von Ungarn zum SHS-Staat, der jedoch vorerst mit der Beseitigung der Kriegsschäden zu kämpfen hatte.

Zum Ende des Ersten Weltkriegs waren praktisch alle Brücken des Schienennetzes zerstört, beinahe alle Bahnhöfe unbenutzbar, Strecken über kilometerlange Abschnitte verwüstet und auch ein Großteil des Fuhrparks ausgebrannt. Als Erstes wurden die notdürftigsten Maßnahmen an den Hauptstrecken durchgeführt, um einen Bahnbetrieb zwischen den größten Städten des vereinigten Staates aufnehmen zu können. Zwischen den beiden nunmehrigen Zentren Zagreb und Belgrad bestand lediglich eine eingleisige Nebenbahnlinie, die erst 1928 ein zweites Gleis erhielt. (3)

Das weitere Hauptaugenmerk des neu gegründeten Staates lag in der Verknüpfung der früher unter verschiedener Herrschaft gestandenen Teilgebiete und derer Bahnstrecken. Das Netz in Slowenien und Kroatien war auf die Hauptstadt Wien und den Adriahafen Triest ausgelegt, jenes in der Vojvodina auf Budapest und das in Südserbien (damals eine gängige Bezeichnung für alle slawisch besiedelten Gebiete südlich von Niš) auf Istanbul bzw. Thessaloniki. Dazu kam noch das mehr oder weniger isolierte Schmalspurnetz in Bosnien und der Herzegowina, welches erst 1928 mit Belgrad verbunden wurde, womit immerhin die erste direkte Eisenbahnverbindung von Serbien mit der südlichen Adria (Dubrovnik) realisiert wurde. Nahezu alle Investitionen der Zwischenkriegszeit dienten der Befriedigung der nunmehr geänderten Verkehrsbedürfnisse.

Wichtige Lückenschlüsse aus dieser Zeit waren etwa Knjaževac – Crveni Krst bei Niš (1922), Topčider (Belgrad) – Mala Krsna – Požarevac (1924), Kragujevac – Kraljevo (1929, weiter in das Kosovo 1931) und die Verbindung Belgrad – Pančevo mit der Belgrader Donaubrücke (Pančevački most) 1935. Insgesamt wurden in der Zwischenkriegszeit in Serbien 773 km an neuen Normalspurstrecken errichtet. Tabelle 2 enthält die wichtigsten Neubauten aus jener Zeit. Bereits damals geplante Infrastrukturmaßnahmen wie die (normalspurige) Verbindung von Belgrad mit der Adria verzögerten sich durch innenpolitische Krisen des Vielvölkerstaates, mangelnde finanzielle Mittel und den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs 1939 erheblich. (4)

Tabelle 2: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur in der Zwischenkriegszeit – Eigene Adaptierung nach (3)

Strecke	Eröffnungsdatum	Länge
Mala Krsna – Požarevac	01.12.1920	17,0 km
Knjaževac – Crveni Krst	15.08.1922	64,5 km
Topčider – Mala Krsna	01.06.1924	65,1 km
Doljevac – Prokuplje	27.12.1925	22,3 km
Beograd – Staatsgr. b. Šid (2. Gleis)	15.12.1928	120,3 km
Kragujevac – Kraljevo	22.12.1929	55,5 km
Prokuplje – Kuršumlija	06.07.1930	33,6 km
Kraljevo – Raška – Kosovska Mitrovica	07.08.1931	132,7 km
Velika Plana – Lapovo (2. Gl.)	09.05.1934	19,0 km
Beograd – Pančevo	11.11.1935	26,3 km
Požarevac - Kučevo	12.03.1939	60,8 km

Auch wenn der Aufbau und die Entwicklung der Eisenbahn in Südosteuropa sehr schwierig war, lag in den dreißiger Jahren bereits ein umfangreiches Netz vor (Abbildung 2). Zu beachten sind dabei aber

die logischerweise geringen Kapazitäten und Geschwindigkeiten auf den damals noch zahlreichen Schmalspurstrecken.



Abbildung 2: Karte des Eisenbahnnetzes im SHS-Königreich um 1930 (5)

Die in Abbildung 2 dargestellte Karte zeigt das Eisenbahnnetz im SHS-Königreich nach Vollendung der Verbindung von Belgrad nach Zagreb. Die Farben der Strecken geben über die Eisenbahndirektionen Auskunft: Rote Strecken gehören zur Direktion Ljubljana, gelbe zur Direktion Zagreb, türkise zu jener in Sarajevo. Im Gebiet des heutigen Serbiens liegen die Direktionen Belgrad (blau) und Novi Sad (braun). Schmalspurstrecken (v.a. im Südwesten des Landes gelegen) sind dünner dargestellt, strichlierte Linien befanden sich zur Drucklegung der Karte in Bau.

2.3 Die Entwicklung nach dem Zweiten Weltkrieg

Im Verlauf des Zweiten Weltkrieges wurden wiederum alle wichtigen Verkehrsverbindungen zerstört, viele sogar mehrmals, da das Land zunächst von den Achsenmächten und nach der Kapitulation 1941 von den Alliierten zahlreich bombardiert wurde. Den Angriffen auf Brücken, Industrieanlagen und Bahnhöfe folgten stets notdürftige Reparaturen durch die Wehrmacht (hier vor allem die wichtige Verbindung nach Griechenland) bzw. die lokalen Partisanenverbände, da die Eisenbahn trotz ihres weitmaschigen Netzes als Garant für einen militärischen Erfolg gesehen wurde.

Ab 1944 wurden immer mehr Gebiete von den kommunistischen Partisanen unter Josip Broz Tito erobert und eine ernüchternde Bilanz gezogen, wie *Grujić* und *Budalo* vermerken: *In Serbien wurden neben vielen Beschädigungen 304 Kilometer Normalspur- und 74 Kilometer Schmalspurstrecke zerstört. Des Weiteren wurden 258 Brücken mit einer Länge von 7309 Metern, 235 Bahnhofsgebäude, 14 Tunnels mit 773 Metern Gesamtlänge, 34 Heizhäuser, 53 Wassertürme, 25 Drehscheiben, 1178 Weichen und 444 weitere Gebäude dem Erdboden gleich gemacht.* (3)

Die größten Einzelschäden auf serbischem Territorium waren die zerstörten Donaubrücken bei Belgrad und Novi Sad, die Savebrücke auf der Strecke von Belgrad nach Zagreb, die gesamten Bahnhofsanlagen in Belgrad und Niš sowie zahlreiche Brücken auf der Ibar-Strecke in das Kosovo. Auch der Tunnel bei Čortanovci auf der Strecke Belgrad- Novi Sad und die Donaubrücke bei Bogojevo (Strecke Subotica – Vinkovci) sind unter den folgenschwersten Beschädigungen zu erwähnen. (6)

Wie nach dem Ersten Weltkrieg bestand die vordergründige Aufgabe in der Reparatur der wichtigsten zerstörten Strecken und Bahnhöfe. Große Brücken wie die Donaubrücke zwischen Novi Sad und Petrovaradin wurden durch Pontons ersetzt und bis 1946 neu gebaut. Am 21. April 1945 war, fünf Monate nach der Eroberung, die Verbindung Belgrad – Niš – Skopje wieder befahrbar. Diese hatte glücklicherweise nicht so viele Beschädigungen erlitten wie die parallele Ibar-Trasse. Am 31. Dezember 1945 wurde die Brücke über die Save in Belgrad eröffnet und die neue Pančevo-Brücke konnte nach eineinhalbjähriger Bauzeit am 29. November 1946 dem Verkehr übergeben werden und ersetzte damit das behelfsmäßig eingerichtete Trajekt bei Smederevo. (3)

In der Zeit bis 1960 waren die Planungen des neuen jugoslawischen Staates zunächst auf Großprojekte gerichtet, die der nationalen Einigung dienen sollten. Unter diesen sind die beiden Adriabahnen Sarajevo – Ploče und Beograd – Bar zu erwähnen, deren Fertigstellung in Etappen aber bis in die siebziger Jahre andauerte. Realisiert wurden geringfügige Lückenschlüsse im serbischen Normalspurnetz wie die Verbindung von Kraljevo mit Čačak 1955 und Kruševac 1958 sowie mit Bosnien (Šabac – Zvornik) und dem Kosovo (Kuršumljia – Priština).

In weiterer Folge wurden die Eisenbahnknoten Niš, Novi Sad und Belgrad mit großen Verschiebebahnhöfen und Umgehungsgleisen errichtet. Somit musste der Transitgüterverkehr nicht mehr die stark befahrenen innerstädtischen Gleisverbindungen nutzen. Die Strecke Velika Plana – Niš wurde zwischen 1960 und 1990 in Abschnitten zweigleisig ausgebaut, während zwischen Belgrad und Velika Plana hauptsächlich im Einbahnbetrieb gefahren wurde (und wird). Weitere Ausbaumaßnahmen betrafen etwa die Verbindungen Majdanpek – Bor (1972), der Anschluss von Čačak mit Požega (und somit der Beograd – Bar – Linie, 1976) sowie die innerstädtische Verbindung durch Belgrad (1984).

Seitdem wurden keine neuen Bahnstrecken in Serbien mehr gebaut. Es erfolgte lediglich noch die Zulegung des zweiten Streckengleises auf einigen Abschnitten zwischen Stalać und Niš. In den Achtzigerjahren erschien es notwendig, eine zweite Magistrale durch Jugoslawien zu bauen, welche die Hauptstrecke Skopje – Niš – Beograd – Zagreb – Ljubljana entlasten würde, und zwar über Kosovo Polje – Kraljevo – Požega – Valjevo – Zvornik – Tuzla – Banja Luka nach Zagreb. Dazu wurde mit den Arbeiten an der Neubaustrecke Valjevo – Loznica begonnen, die jedoch 1990 noch nicht fertiggestellt war und dies bis heute nicht ist. Eine Übersicht der wichtigsten Ausbaumaßnahmen in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg findet sich in Tabelle 3. Abbildung 3 am Ende dieses Kapitels zeigt das im Personenverkehr bediente Schienennetz zum Zeitpunkt des Zusammenbruchs von Jugoslawien.

Tabelle 3: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur nach dem Zweiten Weltkrieg – Eigene Adaptierung nach (3)

Strecke	Eröffnungsdatum	Länge
Kučevo - Brodina	29.11.1948	16,0 km
Kuršumlja – Priština	15.09.1949	70,8 km
Šabac – Zvornik	15.05.1950	73,7 km
Markova – Svilajnac – Despotovac	1951	34,7 km
Kraljevo – Čačak	29.11.1955	34,0 km
Brodina – Majdanpek	02.09.1958	15,2 km
Resnik – Vreoci (Teil von Beograd – Bar)	29.11.1958	37,1 km
Kruševac – Kraljevo	01.12.1958	57,0 km
Despotovac – Resavica	05/1960	18,7 km
Knoten Niš	1960	4,0 km
Knoten Novi Sad (incl. neue Strecke n. Petrovaradin)	1961/1964	21,7 km
Batajnica – Resnik (incl. Beograd Ranžirna)	28.05.1967	87,3 km
Paraćin – Stalać (2. Gleis)	1967	21,1 km
Vreoci – Valjevo (Teil von Beograd – Bar)	1968	40,5 km
Restausbau Knoten Beograd	1968/1970	27,3 km
Lapovo – Bagrdan – Čuprija most (2. Gleis)	1971/1973	39,9 km
Čuprija – Paraćin (2. Gleis)	1971	6,9 km
Majdanpek – Bor	03.04.1972	45,4 km
Valjevo – Užice (Teil von Beograd – Bar)	03.06.1972	84,2 km
Užice - Vrbnica (Teil v. Beograd – Bar z. Republiksgrenze)	1976	123,3 km
Čačak – Požega	1976	32,5 km
Novi Beograd – BG Centar – Pančevački most / Rakovica	1984	11,7 km
Aleksinac – Trupale (2. Gleis)	1988	20,6 km
Đunis – Aleksinac (2. Gleis)	1990	19,3 km

Wichtig für die Modernisierung der Eisenbahnen in Serbien bzw. Jugoslawien war auch die schrittweise Elektrifizierung, die in den Sechzigerjahren begonnen wurde sowie die Ausstattung mit moderner Signalisierung. Aus naheliegenden Gründen der Finanzierbarkeit beschränkten sich diese Maßnahmen auf die internationalen bzw. nationalen Hauptstrecken sowie kurze Anschlussstücke. Die Elektrifizierungsarbeiten begannen 1960 am Abschnitt zwischen der Republiksgrenze zu Kroatien bei Šid und Sremska Mitrovica. Schrittweise wurde bis 1970 die Fahrleitung bis Belgrad verlegt und am 30. Mai jenes Jahres konnte der erste elektrisch bespannte Schnellzug aus Zagreb in Belgrad einfahren.

Bis 1974 war der gesamte Korridor Zagreb – Belgrad – Niš – Skopje durchgehend elektrifiziert und 1979 die kurz davor fertiggestellte Verbindung von Belgrad über Valjevo, Požega und Užice nach Podgorica und Bar (Montenegro). 1980 wurde das fehlende Teilstück zur ungarischen Grenze bei Subotica fertiggestellt und 1983/84 die lokalen Anschlussstrecken von Mala Krsna nach Smederevo und Požarevac. Seitdem ruhen auch in diesem Bereich die Investitionen nahezu, lediglich der Abschnitt Požega – Čačak – Kraljevo konnte Ende 2008 dem Verkehr übergeben werden. (7) Tabelle 4 zeigt die elektrifizierten Abschnitte am Territorium Serbiens, wobei jeweils die gesamte Gleislänge angegeben ist.

Tabelle 4: Übersicht über die Elektrifizierung der serbischen Eisenbahnstrecken – Eigene Adaptierung nach (3)

Strecke	Eröffnungsdatum	Länge
Republiksgr. b. Šid – Beograd (incl. Knoten Beograd)	1969/1970	518,3 km
Beograd – Lapovo (über Mladenovac u. Mala Krsna)	1970/1971	325,1 km
Knoten Belgrad (2. Teil)	1971/1972	27,9 km
Lapovo – Niš – Republiksgr. b. Preševo	1974	422,3 km
Resnik – Užice (Teil v. Beograd – Bar)	1974	163,8 km
Užice – Bar	25.05.1979	291,1 km
Indija – Novi Sad – Staatsgr. b. Subotica	25.05.1980	217,8 km
Mala Krsna – Smederevo / Požarevac	1983/1984	32,7 km
Požega – Čačak	24.09.1999	33,2 km
Čačak – Kraljevo	Ende 2008	ca. 34 km

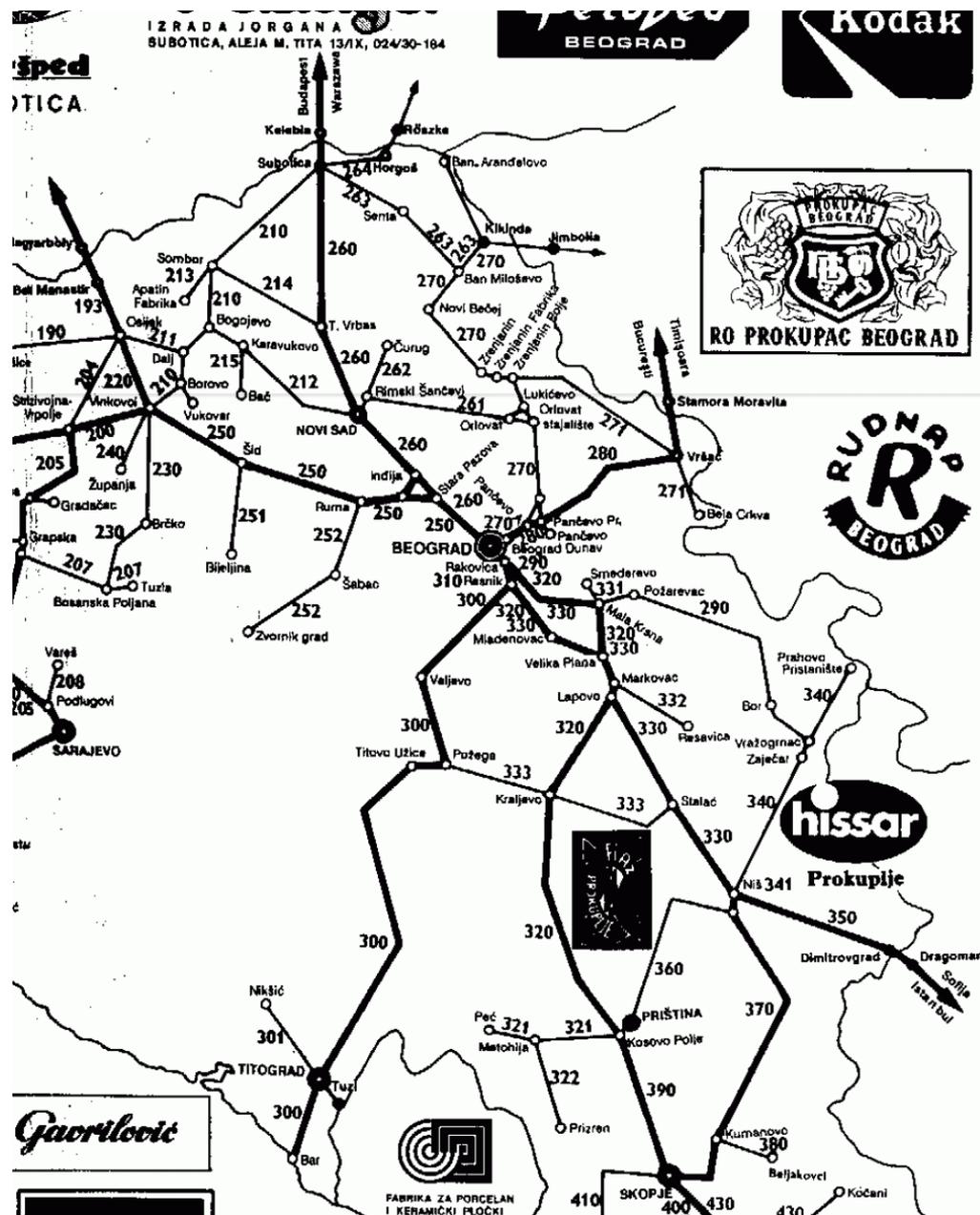


Abbildung 3: Im Personenverkehr bediente Strecken der Jugoslawischen Eisenbahnen 1991 (8)

Im Bereich der Signalisierung wurden die meisten Stationen entlang der elektrifizierten Magistralen mit modernen Zugsicherungssystemen ausgestattet und Streckenblocks eingeführt. Die Einführung der Spurplantchnik brachte die Stellwerke in den siebziger Jahren auf den westeuropäischen Stand der Technik. Die Strecken von Šid nach Preševo und von Belgrad nach Bar wurden von Siemens/FSU mit Signal-Sicherheitseinrichtungen vom Typ SpDrS-64-JŽ, ein Indusi-Derivat, ausgerüstet, die Zweigstrecke nach Novi Sad mit Wabco-Westinghouse-Relais und die Ibar-Magistrale Lapovo – Kraljevo – Kosovo Polje – Skopje mit Ericsson-Relais. (9)

Zur Kommunikation wurde ein leistungsfähiges Telegraf- und Telefonnetz aufgebaut. Es wurden Zugfunkssysteme, Mehrkanaltelegrafen, Streckentelefone nach dem CDS- und CDEv-System sowie Datenübertragungsleitungen eingerichtet. Auch die Bahnhöfe und Stationen wurden in dieser Hinsicht modernisiert und mit Telefonanlagen, Terminals sowie Überwachungseinrichtungen ausgestattet. (10)

2.4 Die Zeit nach dem Zusammenbruch von Jugoslawien

In den achtziger Jahren verlangsamte sich das Tempo der Investitionen auf Grund der schwierigen wirtschaftlichen Lage von Jugoslawien. Die wenigen noch fertiggestellten Abschnitte (Tabelle 3) gingen in Betrieb, als die innenpolitische Krise bereits sehr akut war. Die Folgen des Zusammenbruchs Jugoslawiens und der daraus resultierenden bewaffneten Konflikte gestalteten sich nach *Grujić* und *Budalo* (3) wie folgt:

- *Vernachlässigung von möglichen Modernisierungen und generell verminderte Investitionen verhindern deren [Ausführung und] wirtschaftliche Effekte*
- *Uneinigkeit in der Auswahl der Anschaffungen sowie keine rechtzeitige Beschaffung von Lokomotiven und Waggons*
- *Mangel an Stations-, Vershub- und Anschlussgleisen*
- *Unzureichende moderne Transportsysteme und fehlende Eisenbahnknoten*
- *Aufteilung der Eisenbahngesellschaft und Uneinigkeit über die Organisationsformen*
- *Eine Reihe von Flaschenhälsen auf den Transitmagistralen und langsamer Ausbau von diesen (z.B. Zweigleisigkeit Lapovo – Niš)*
- *Ungenügende Sicherheit an Bahnübergängen*

Dazu kamen die Luftangriffe durch die NATO im Kosovo-Konflikt 1999, welche abermals der (Eisenbahn-)Infrastruktur Serbiens schwere Schäden zufügten. 205 Mal war die Eisenbahn Ziel von Bombenangriffen, durch welche 18 Brücken, zwei Tunnels und 22 Bahnhofsgebäude getroffen wurden. Schwere Schäden wurden auch an Gleisen, Signalisierung, Stromversorgung und Telekommunikationseinrichtungen verursacht. Sämtliche internationale Bahnverbindungen mit Serbien waren nach den Bombardements zunächst unterbrochen.

Der Verkehr wurde durch den Krieg auf ein Mindestmaß reduziert und über Jahre hinaus wurden die Verkehrsströme nach Griechenland und die Türkei über Rumänien und Bulgarien umgeleitet. Die ehemalige Hauptverbindungsstrecke Belgrad – Zagreb war zwischen 1991 und 1998 unterbrochen. Die Zerstörung der Donaubrücke (*Žeželjev most*) bei Novi Sad blockierte bis zu deren provisorischen Neubau 2004 die Donauschifffahrt erheblich. Gereiht nach Prioritäten wurden die zerstörten Tunnels und Brücken wieder aufgebaut, diese Arbeiten sind bereits seit mehreren Jahren abgeschlossen. (3)

3 Der aktuelle Zustand der Eisenbahnen in Serbien

3.1 Das Streckennetz der Serbischen Eisenbahnen

Die gesamte Länge des Streckennetzes der Serbischen Eisenbahnen (ohne Strecken im Kosovo) beträgt 3475 Kilometer. Das entspricht einer Streckendichte von 0,045 Kilometern pro Quadratkilometer Staatsgebiet. Zum Vergleich beträgt die Streckendichte in der Schweiz 0,076 km/km², in Österreich 0,068 km/km², in Kroatien 0,052 km/km² und in Bosnien-Herzegowina 0,020 km/km². Aufgeteilt auf Vojvodina und Zentralserbien ergeben sich für die Vojvodina 0,096 km/km² sowie für Zentralserbien 0,025 km/km². Diese geringe Streckendichte ist, wie bereits in Kapitel 2 erläutert, durch die schwierige Topographie im Süden sowie die wechselnde historische Entwicklung zu erklären. (2)

Von den 3475 Kilometern Gesamtstreckenlänge sind derzeit (Fahrplan 2010/2011) 3208 Kilometer in Betrieb (Abbildung 4). Ein Großteil der außer Betrieb stehenden Strecken wurde in den Krisenzeiten der frühen neunziger Jahre geschlossen und es sind keine Anzeichen auf eine geplante Reaktivierung zu erkennen. Lediglich die Strecke Stalać – Kruševac – Kraljevo ist seit November 2005 wegen dringender Bauarbeiten gesperrt. Dabei soll sie wieder auf die projektierten Geschwindigkeiten ertüchtigt und auch elektrifiziert werden. (11)

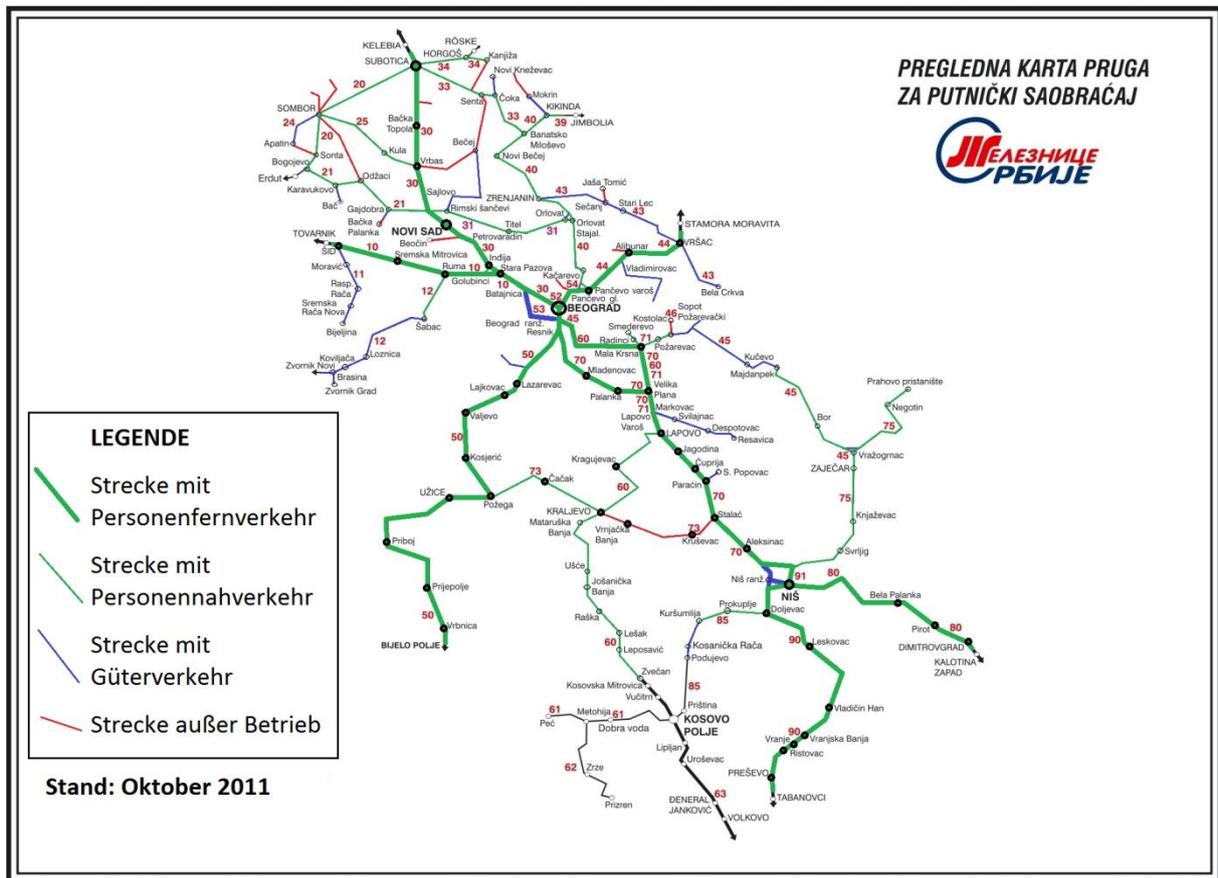


Abbildung 4: Streckennetz der ŽS, Karte aus (12) adaptiert mit Informationen aus (13)

Sieht man sich das Bahnnetz und die Verteilung der Bevölkerung an, erkennt man, dass vier der fünf Städte mit über 100.000 Einwohnern – nämlich Belgrad, Novi Sad, Niš und Subotica – auf einer Linie liegen. Diese gehört darüber hinaus zum ohnedies priorisierten Paneuropäischen Verkehrskorridor X. Kragujevac und acht der weiteren 13 Städte über 50.000 Einwohner liegen an Bahnstrecken die ebenfalls eine hohe Bedeutung im Fernverkehr haben bzw. hatten und weitere vier Städte über 50.000 Einwohner liegen an regionalen Bahnstrecken mit Verbindungen zu diesen Fernverkehrsstrecken. Die einzige größere Stadt ohne Bahnanschluss ist Novi Pazar, wenngleich eine Verbindung von Raška (etwa 30 Kilometer Distanz) seit längerem im Gespräch ist. (14) Eine Auflistung

der größten serbischen Städte und ihrer Bahnanbindungen sowie weiterer wichtiger Eisenbahnknotenpunkte (gemäß Volkszählung 2002) findet sich in Tabelle 5.

Eine Parallele zu Österreich (und auch vielen anderen Ländern) ist in den Abzweigbahnhöfen gegeben. Kreuzungen bzw. Umsteigemöglichkeiten von Fernverkehrszügen ergeben sich etwa in Lapovo, Stalać, Požega oder Mala Krsna, d.h. Bahnhöfen von Orten mit einer sehr geringen Einwohnerzahl (Tabelle 5), die für sich genommen keine dort endenden Züge bzw. Halte von Fernverkehrszügen rechtfertigen würden. Dennoch sollten sie für ein netzweites Konzept selbstverständlich betrachtet werden.

Tabelle 5: Übersicht der Städte über 50 000 Einwohner sowie wichtiger Bahnknotenpunkte auf Basis der serbischen Volkszählung 2002 (15)

Stadt	Art des Bahnanschlusses	Anzahl der Linien	Einwohner 2002
Belgrad	am Korridor X	5 Richtungen	1 119 020
Novi Sad	am Korridor X	5 Richtungen	190 602
Niš	am Korridor X	4 Richtungen	173 390
Kragujevac	Hauptstrecke	-	145 890
Subotica	am Korridor X	5 Richtungen	99 471
Zrenjanin	Nebenstrecke	3 Richtungen	79 545
Pančevo	Hauptstrecke	3 Richtungen	76 110
Čačak	Hauptstrecke	-	73 152
Leskovac	am Korridor X	-	63 132
Smederevo	Nebenstrecke	-	62 668
Valjevo	Hauptstrecke	-	61 406
Kraljevo	Hauptstrecke	4 Richtungen	57 761
Kruševac	Hauptstrecke	-	57 371
Užice	Hauptstrecke	-	55 025
Vranje	am Korridor X	-	55 012
Šabac	Nebenstrecke	-	54 832
Novi Pazar	ohne Netzanschluss	-	54 588
Sombor	Nebenstrecke	4 Richtungen	50 950
Stara Pazova	am Korridor X	3 Richtungen	18 645
Požega	Hauptstrecke	3 Richtungen	13 206
Lapovo	am Korridor X	3 Richtungen	7 422
Stalać	am Korridor X	3 Richtungen	1 828
Mala Krsna	am Korridor X	4 Richtungen	1 753

Aus den vorliegenden Fakten kann jedenfalls geschlossen werden, dass sich das serbische Streckennetz von Dichte und Anbindung der bevölkerungsstärksten Gegenden eignet, um einen attraktiven und effizienten Eisenbahnfernverkehr mit Ergänzung durch regionale Anbindungen anzubieten. Im Kapitel 4 soll analysiert werden, inwiefern dies unter den derzeitigen Rahmenbedingungen möglich ist.

3.2 Erhaltungszustand des Netzes

Wie im Kapitel 2 erwähnt, wurde der überwiegende Teil des serbischen Eisenbahnnetzes in der zweiten Hälfte des 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erbaut. Somit kommt dem Aspekt der Erhaltung großes Augenmerk zu. Auf Grund der in Kapitel 2.4 geschilderten Effekte (siehe auch Kapitel 4.1) ist die Erhaltung jedoch nicht in dem Maße möglich, als es notwendig wäre, um einen qualitativ hochwertigen Betrieb aufrechtzuerhalten. Zahlreiche regionalen Strecken und auch Teile von Strecken mit zweigleisigem Ausbau wurden seit 1975 nicht mehr erneuert (Abbildung 5). Die übrigen Strecken wurden meist, wenn überhaupt, nur abschnittsweise einer Erneuerung unterzogen. Besonders auffällig ist der schlechte Erhaltungszustand in der Vojvodina, wo in den letzten 20 Jahren nur in die Strecken zwischen Batajnica und Golubinci sowie Čortanovci und Petrovaradin (zur Beseitigung der Schäden) investiert wurde.

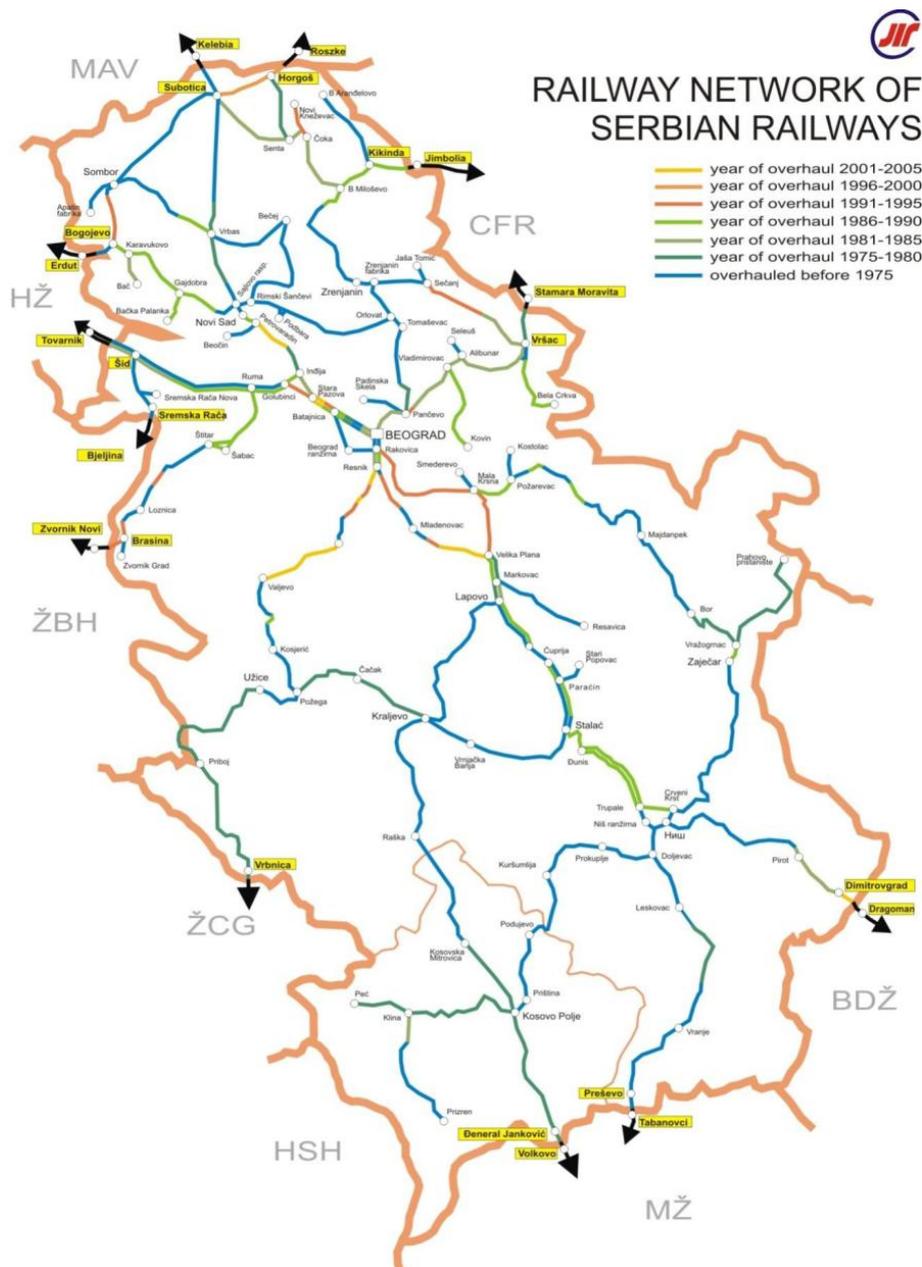


Abbildung 5: Zeitliche Übersicht über die Generalüberholungen am Netz der ŽS (16)

Diese fehlende Erhaltung führt unweigerlich zu Langsamfahrstellen, deren Zahl sich von 200 mit einer Länge von 320 Kilometern im Jahr 2005 auf fast 400 mit einer Gesamtlänge von 700 Kilometern mehr als verdoppelt hat. (17) Selbst auf der Hauptstrecke Belgrad – Zagreb ist in Serbien nur das linke

Streckengleis mit 120 km/h befahrbar, das rechte kann ab Stara Pazova mit maximal 50 km/h bzw. 30 km/h benutzt werden. Dies ergibt etwa 50% längere Fahrzeiten in Richtung Westen als ostwärts. In Richtung Niš gibt es bis Velika Plana längere Langsamfahrabschnitte und von Novi Sad nach Subotica sind nur auf kurzen Abschnitten 80 km/h möglich – die restlichen Teilbereiche sind lediglich für 40 km/h bis 60 km/h zugelassen. Nahezu alle hier genannten Abschnitte wurden in früherer Zeit für 100 km/h bzw. 120 km/h projektiert oder ausgebaut. Abbildung 6 zeigt die ehemals projektierten Geschwindigkeiten, während dem als Gegenüberstellung in Abbildung 7 die derzeit zugelassenen Geschwindigkeiten enthalten sind. Nicht in Abbildung 7 inkludiert sind zahlreiche weitere, kleinräumige Langsamfahrstellen auf Grund von Infrastrukturmängeln. Diese verringern die tatsächlich fahrbare Geschwindigkeit auf dem Netz nochmals um 20% bis 50% der angegebenen Werte. (13)

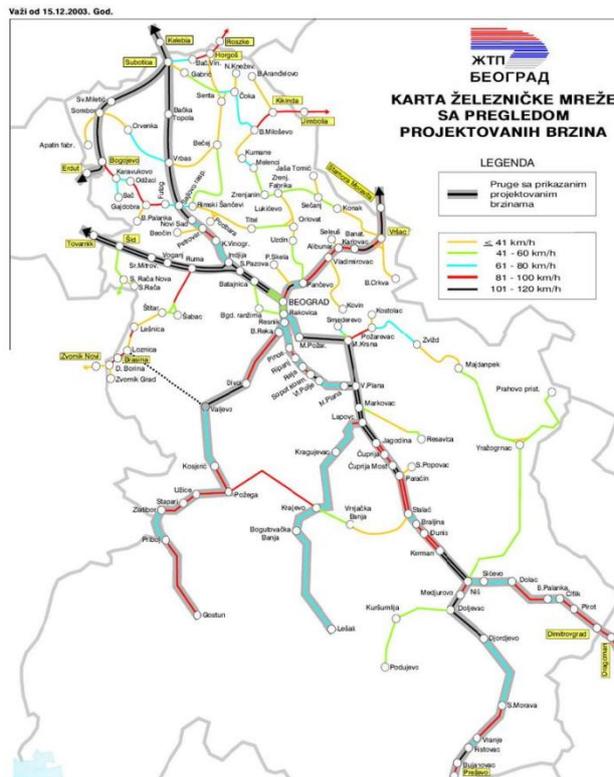


Abbildung 6: Projektierte Streckenhöchstgeschwindigkeiten am Netz der ŽS (18)

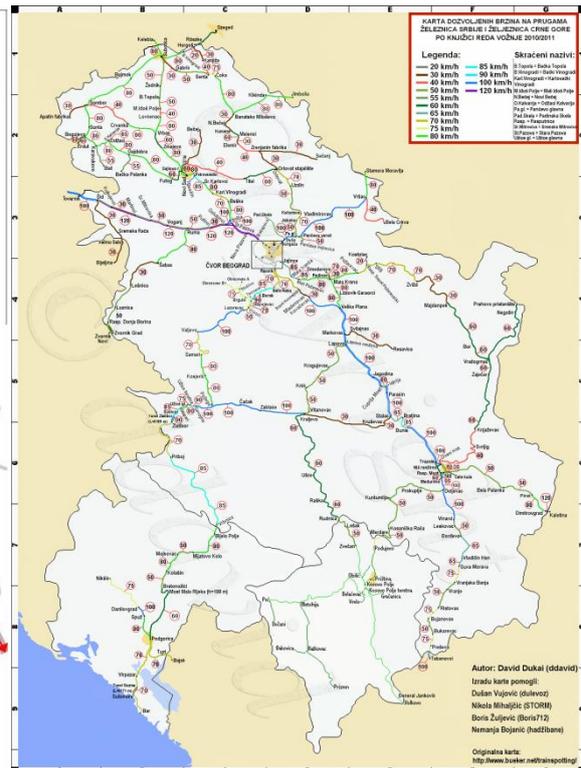


Abbildung 7: Tatsächliche Streckengeschwindigkeiten (ohne kleinräumige Langsamfahrstellen) am Netz der ŽS und ŽCG (19)

Wie in Kapitel 2.3 bereits erwähnt, wurden die Hauptstrecke Zagreb – Skopje, deren Abzweigung nach Ungarn und die Neubaustrecke nach Bar noch in der jugoslawischen Zeit mit modernen Sicherungssystemen und automatischen Streckenblocks ausgestattet. Auf den anderen Strecken kommt heute noch zum überwiegenden Teil manuelle Signalisierung zur Anwendung, so auch auf den Strecken Niš – Dimitrovgrad, Subotica – Bogojevo und Beograd – Vršac, die internationale Bedeutung haben. Auf der Strecke nach Bar sind keine automatischen Streckenblocks eingerichtet. Der derzeitige (2005) Zustand der Strecken nach ihrer Signalisierung und den Sicherheitssystemen ist in Abbildung 8 ersichtlich. Die Nebenstrecken verfügen in vielen Fällen über keine ortsfeste Signalisierung, hier wird der gesamte Betrieb durch die Fahrdienstleistungen (Abfahrtauftrag) geregelt. Dementsprechend gering sind Geschwindigkeiten und Zugfrequenzen.

Eine wichtige Kenngröße insbesondere für den Güterverkehr stellt die zulässige Achslast dar. Diese beträgt auf den Strecken des Korridor X 22,5 Tonnen. Dies entspricht den Streckenklassen D4 bzw. D3. Die Strecke von Belgrad nach Vršac und weiter nach Rumänien verfügt über die Streckenklasse D2. Weitere wichtige Strecken wie die Verbindung ins Kosovo oder jene zwischen Belgrad und Velika

Plana über Mladenovac gehören der Streckenklasse C3 (20 Tonnen Achslast) an. Die übrigen noch betriebenen Strecken sind größtenteils als Streckenklasse A mit 16 Tonnen Achslast klassifiziert (Abbildung 9).

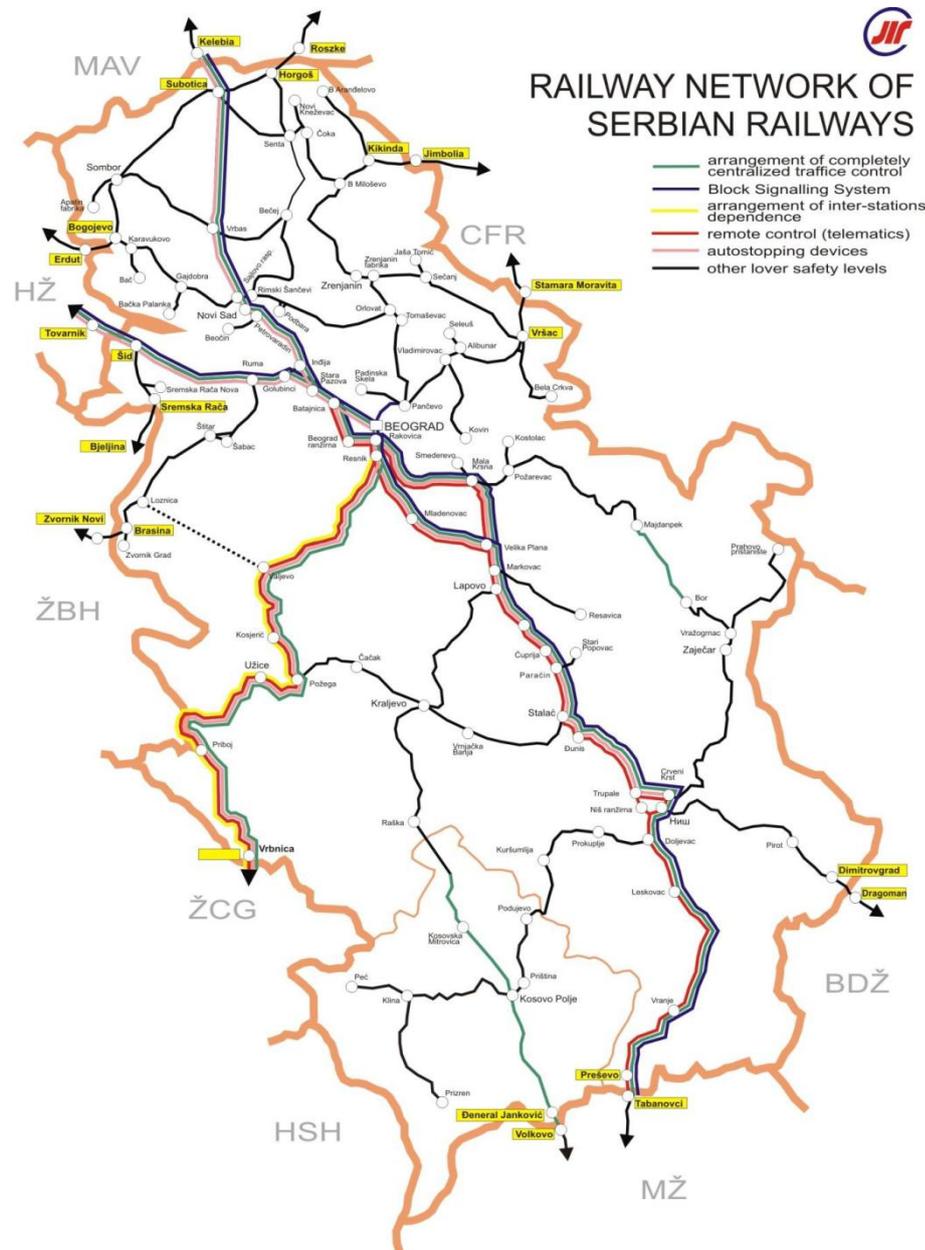


Abbildung 8: Übersicht über die Signalisierungs- und Sicherungssysteme im Netz der ŽS (16)

Aus der Abbildung 9 sind auch nochmals die zweigleisigen Abschnitte (außerhalb des Knotens Belgrad) erkennbar. Dabei handelt es sich lediglich um die Strecke von Belgrad nach Šid und weiter nach Kroatien sowie vier insgesamt 130 Kilometer lange Abschnitte zwischen Velika Plana und Niš. Zieht man die geteilte Streckenführung zwischen Belgrad und Velika Plana über Mladenovac bzw. Mala Krsna hinzu kommt man auf der Strecke nach Niš auf 218,7 km zweigleisiger Strecke, das entspricht 90% der Gesamtstreckenlänge. Es fehlen eine Brücke bei Čuprija, der Abschnitt Stalać – Đunis (19 km) durch die Moravaschlucht sowie Trupale – Crveni Krst (5 km).

Elektrifiziert sind nach Tabelle 4 die Strecken Belgrad – Šid Staatsgrenze mit der Abzweigung von Stara Pazova nach Subotica Staatsgrenze, Belgrad – Niš – Preševo Staatsgrenze, Belgrad – Vrbnica Staatsgrenze und Požega – Kraljevo sowie die Anschlüsse nach Pančevo (von Belgrad) und Smederevo sowie Požarevac (jeweils von Mala Krsna). Die Netzfrequenz wurde mit 50 Hertz gleich

wie im Landesnetz gewählt und die Netzspannung beträgt 25 Kilovolt. Damit ist das serbische Bahnstromnetz kompatibel zu jenen sämtlicher Nachbarländer. (3)

Die zweigleisigen Abschnitte weisen (theoretische) Kapazitäten von 150 (Ruma – Šid) bis 193 (Velika Plana – Lapovo) Zügen pro Tag auf. Die Kapazitäten der eingleisigen Abschnitte auf den Hauptstrecken reichen von 44 (Niš – Dimitrovgrad) bis 94 (Mala Krsna – Velika Plana) Zügen pro Tag. Dies erklärt sich aus den Unterschieden der eingesetzten Sicherheitssysteme (siehe Abbildung 8) sowie dem Bahnstabsabstand und der zulässigen Geschwindigkeit. (16)

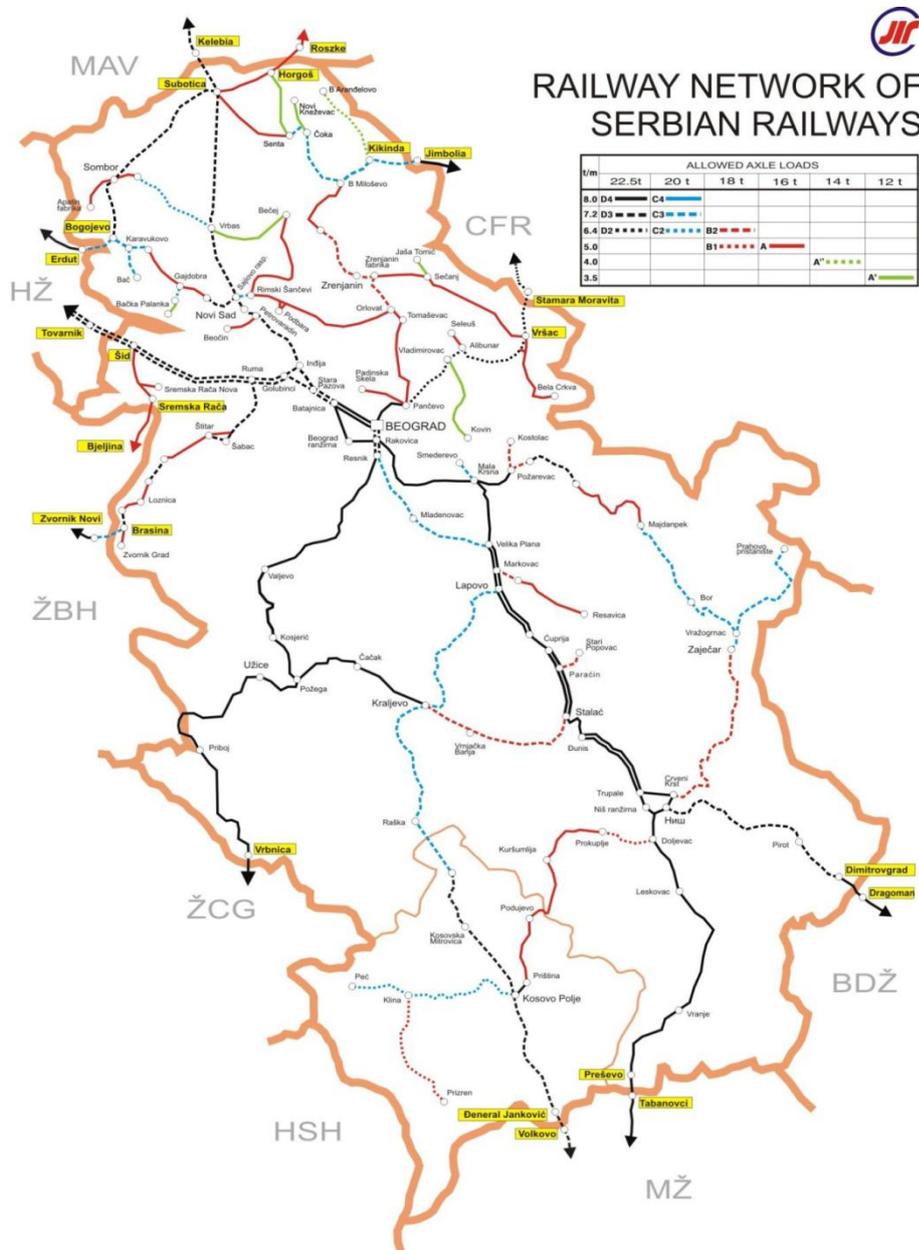


Abbildung 9: Streckenklassen und Achslasten am Netz der ŽS (16)

3.3 Fahrbetriebsmittel

Der Personen- und Güterfernverkehr in Serbien wird heute nahezu ausschließlich mit den Streckenelektrolokomotiven der Reihen 441 und 461 sowie den Streckendiesellokomotiven der Reihen 644 und 661 abgewickelt. Erstere wurden zwischen 1967 und 1981, letztere zwischen 1960 und 1973 gebaut. In den letzten 20 Jahren wurden lediglich einige dieser Lokomotiven generalüberholt, Neuanschaffungen blieben auf diesem Sektor komplett aus. Ein nicht zu kleiner Teil des Bestandes muss demnach als Ersatzteilständer dienen. Somit liegt das Hauptproblem beim hohen Schadbestand, der natürlich wieder auf das Alter der Fahrzeuge zurückgeführt werden kann.

Im Regionalverkehr kommen auf weiten Teilen ebenfalls diese Lokomotiven zum Einsatz, sonst noch die Triebwagen der Reihen 412, 712 und 812, die zwischen 1955 und 1981 gebaut wurden. Seit dem Zusammenbruch Jugoslawiens wurden lediglich 25 Diesel-Verschublokomotiven der Reihe 621 aus Tschechien angekauft sowie 10 Dieseltriebwagen der Reihe 710 gebraucht aus Schweden übernommen. Der Fahrzeugmangel führt zu Streichungen bei den Zugleistungen bzw. verkürzten Zügen, wovon in erster Linie der Personennahverkehr betroffen ist. Tabelle 6 liefert eine Übersicht über die Anzahl der verfügbaren und der (nach Fahrplan) benötigten Lokomotiven, Triebwagen und Waggons. Technische Daten der hier angeführten Triebfahrzeugtypen finden sich im Anhang.

Tabelle 6: Verfügbarkeit, Bedarf und tatsächlicher Einsatz der Fahrbetriebsmittel der ŽS 2006 (16)

Art des Fahrbetriebsmittels	Verfügbar zum 31.12.2006	Bedarf 2006	Durchschnittlich in Betrieb 2006	Verhältnis Betrieb/Bedarf
Triebfahrzeuge	418	209	143	0,68
Elektrolokomotiven	148	112	75	0,67
Reihe 441	57	40	34	0,85
Reihe 444	30	19	14	0,74
Reihe 461	61	53	27	0,51
Elektrotriebzüge	38	16	16	1,00
Reihe 412/416	38	16	16	1,00
Diesellokomotiven	192	67	40	0,60
Reihe 621	17	7	7	1,00
Reihe 641	51	17	12	0,71
Reihe 642	22	-	-	-
Reihe 643	11	2	2	1,00
Reihe 645	4	-	-	-
Reihe 661	71	36	16	0,44
Reihe 664	9	-	-	-
Reihe 666	4	3	2	0,67
Reihe 732	3	2	1	0,50
Dieseltriebzüge	40	14	12	0,86
Reihe 712/714	15	2	1	0,50
Reihe 812/818	25	12	11	0,92
Waggons	9466	5285	3570	0,68
Personenwaggons	587	220	221	1,00
Güterwaggons	8879	5065	3349	0,66

Die Auswirkungen dieser Werte – ausgefallene, verspätete und verkürzt geführte Züge – zeigen sich auch in der Verkehrsbilanz des Jahres 2006 (Tabelle 7). In dieser wird die Verkehrsleistung für Personen- und Güterverkehr sowohl mit jener des Vorjahres als mit der prognostizierten für das aktuelle Jahr verglichen. Dabei zeigt sich eine leichte Steigerung der beförderten Personen bei gleichzeitigem, ganz leichtem Rückgang der Personenkilometer. Die Zahl der in Verkehr gesetzten Züge stagnierte, obwohl sie gemäß Fahrplan um 16% hätte steigen sollen. Die Hauptgründe für nicht

in Betrieb gesetzte Züge waren neben dem Triebfahrzeugmangel auch ein Lieferengpass von Diesel und eine Bevorzugung des Güter- vor dem Personenverkehr.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit im Personenverkehr ist von 2005 auf 2006 um 0,93 km/h auf 44,15 km/h gesunken. Die Züge hatten über das Jahr aufsummiert eine Verspätung von knapp 800 000 Minuten, was 7,5 Minuten pro 100 gefahrenen Kilometern entspricht. Diese Zahlen sind um 7,4% bzw. 4,3% im Vergleich zum Vorjahr gestiegen.

Im Güterverkehr konnten die ambitionierten Ziele (Steigerung der Beförderungstonnage sowie der Tonnenkilometer) allerdings sogar übertroffen werden. Die Gesamtfracht stieg um 12,5% bei prognostizierten 4,8%, die Zahl der Tonnenkilometer sogar um 21,6% bei prognostizierten 12,9% Steigerung im Vergleich zum Vorjahr. Es wurden nur um 1,1% mehr Züge in Verkehr gesetzt als geplant, somit waren die Züge für sich weitaus besser ausgelastet als angenommen. Tabelle 7 zeigt eine genaue Auflistung der verglichenen Werte für den Personen- und Güterverkehr.

Tabelle 7: Personen- und Güterverkehrsleistungen der ŽS im Jahr 2006 im Vergleich zu 2005 und zum Plan für 2006 (16)

Art des Verkehrs	Ist 2005	Plan 2006	Ist 2006	Verhältnis Ist 06 / Ist 05	Verhältnis Ist 06 / Plan 06
Personen gesamt	13,455 Mio	15,653 Mio	14,110 Mio	104,87%	90,14%
Inlandsverkehr	6,078 Mio	7,200 Mio	6,048 Mio	99,51%	84,00%
Internat. Verkehr	0,414 Mio	0,450 Mio	0,430 Mio	103,86%	95,56%
Personenkilometer gesamt	852 Mio PKM	960 Mio PKM	846 Mio PKM	99,30%	88,13%
Inlandsverkehr	642 Mio PKM	733 Mio PKM	620 Mio PKM	96,57%	84,58%
Internat. Verkehr	71 Mio PKM	67 Mio PKM	73 Mio PKM	102,82%	108,96%
Personenzüge in Verkehr	156.218	186.602	156.487	100,17%	83,86%
Güter gesamt	12,568 Mio t	13,500 Mio t	14,142 Mio t	112,52%	104,76%
Inlandsverkehr	4,152 Mio t	4,250 Mio t	3,787 Mio t	91,21%	89,11%
Internat. Verkehr	8,416 Mio t	9,250 Mio t	10,355 Mio t	123,04%	111,95%
Nettotonnenkilometer ges.	3482 Mio TKM	3750 Mio TKM	4232 Mio TKM	121,54%	112,85%
Inlandsverkehr	687 Mio TKM	730 Mio TKM	633 Mio TKM	92,14%	86,71%
Internat. Verkehr	2795 Mio TKM	3020 Mio TKM	3599 Mio TKM	128,77%	119,17%
Güterzüge in Verkehr	21.072	23.022	23.286	110,51%	101,15%

3.4 Politische Rahmenbedingungen des Verkehrssystems

Wie bereits in Kapitel 2.4 ausgeführt, hatten die politischen Veränderungen am Balkanraum auch gravierende Auswirkungen auf den Transportsektor und im Speziellen auf den Schienen(transit)verkehr. Durch den Zusammenbruch Jugoslawiens und die Bildung der Nachfolgestaaten fiel zunächst der vormals dichte Verkehr zwischen den Teilrepubliken nahezu komplett weg. Private wie geschäftliche Kontakte zwischen den Nachfolgestaaten waren in den neunziger Jahren auf ein Minimum reduziert, was sich etwa in der siebenjährigen Sperre der Bahnstrecke Vinkovci – Šid manifestierte, die Teil der Verbindung Belgrad – Zagreb ist.

Durch die Sperre dieser Verbindung und die Sanktionen der UNO gegen die Bundesrepublik Jugoslawien (Serbien und Montenegro) kam es ebenfalls zu einem starken Rückgang des Transitverkehrs, der nun alternative Wege suchte. Diese waren die Land-See-Verbindung über Italien und die Peloponnes sowie zu Lande über Rumänien und Bulgarien, welche jedoch beide große Umwege darstellten. Die Zerstörung der Donaubrücke bei Novi Sad war nochmals ein schwerer Schlag gegen den Transit durch Serbien. Erst ab 2004 war wieder problemloser Schienenverkehr durch das Land möglich, wobei sich das Verkehrsaufkommen weit unter den Zahlen von 1990 bewegte. In dieser Zeit wurde jedoch stark in den Straßenausbau investiert, womit die Position der Eisenbahn abermals geschwächt wurde.

Der Straßenverkehr ist daher stark gestiegen und liegt vor allem im Personenverkehr in Serbien unangefochten an der Spitze. 2006 wurden 96% des Personenverkehrs und 47% des Güterverkehrs (dabei jedoch weitere 20% im Schiffsverkehr entlang der Donau) auf der Straße abgewickelt. Zwischen Belgrad und Novi Sad verkehren 2011 an einem durchschnittlichen Werktag (11. November 2011) 96 Busse pro Richtung (20), während nur fünf Schnell- und sieben Regionalzugsverbindungen entlang dieser Strecke angeboten werden. Die Fahrzeit der Busse beträgt zwischen 1h15 und 1h40, jene der Züge 1h24 bis 1h47. (21) Die Busse sind meist pünktlich, klimatisiert und werden nach jeder Fahrt gereinigt, während dem die Serbische Eisenbahn auf bis zu 40 Jahre alte Waggons zurückgreifen muss und die Züge einen sehr hohen Unpünktlichkeitsgrad (7,5 min Verspätung pro 100 Zugskilometern) aufweisen. In anderen Teilen des Landes gibt es in vielen Fällen gar keine schienengebundene Alternative zu den Bussen, da das weitmaschige Streckennetz nicht an alle Städte oder gar entlegenen Orte heranreicht. (16)

Ein weiteres Problem bei internationalen Verbindungen stellen die Grenzkontrollen dar. Auch hier ist es wiederum die Schiene, die mit größeren Problemen zu kämpfen hat. Während bei PKWs und Bussen meist nur stichprobenartige Kontrollen durchgeführt werden, wird im Eisenbahnverkehr jeder Fahrgast von Grenzorganen und Zoll kontrolliert sowie auch genaue Kontrollen der Fahrbetriebsmittel durchgeführt, was zu langen Aufenthalten und oftmals auch Verspätungen an den Grenzen führt. Gerade an den nordwestlichen Grenzen (Šid – Tovarnik bzw. Subotica – Kelebia) ist dies häufig der Fall. (22)

3.5 Laufende Maßnahmen

Die wichtigsten derzeit durchgeführten Ausbaumaßnahmen konzentrieren sich auf die Teilstrecken des Korridor X. Seit 2010 wird an einem Neubau der Brücke zwischen Čuprija und Jovac gearbeitet, die im August 2012 eröffnet werden soll. Diese ist Teil der 10,5 Kilometer langen Neubaustrecke Gilje – Čuprija – Paraćin, welcher derzeit noch einen kurzen eingleisigen Abschnitt um diese Brücke beinhaltet. Die neue Brücke über die Große Morava ist 323 Meter lang und liegt ca. 30 Meter über dem Wasserspiegel. Die neue Strecke wird nach Abschluss der Bauarbeiten mit 160 km/h befahrbar sein. (23)

Ein weiteres Projekt ist die Elektrifizierung der Strecke Niš – Pirot – Dimitrovgrad. Diese stellt derzeit den einzigen noch nicht elektrifizierten Abschnitt des Korridors X dar. Um das Projekt umzusetzen wird derzeit ein Kredit der Tschechischen Exportbank angestrebt, mit dem die 120 Millionen Euro teure Ausbaumaßnahme umgesetzt werden kann. In der Grenzstation Dimitrovgrad besteht direkter Anschluss an die bereits elektrifizierte bulgarische Strecke nach Sofia. (24)

Die Bahnstrecke Stalać – Kruševac – Kraljevo wurde 2005 auf Grund schwerer Mängel an Unter- und Oberbau für den Verkehr gesperrt und es wurde begonnen, das Teilstück von Stalać nach Kruševac zu erneuern. Dieser Abschnitt ist derzeit auch befahrbar, es findet jedoch kein regulärer Verkehr statt. Die weiteren Arbeiten in Richtung Kraljevo liegen im Moment auf Eis und dieser Streckenabschnitt ist mit maximal 25 km/h befahrbar. Die Ertüchtigung auf die projektierten 65 km/h und die Elektrifizierung sind jedoch weiterhin vorgesehen. (25)

Fahrzeugseitig werden derzeit 12 neue dieselgetriebene Triebwagen des russischen Herstellers Metrovagonmaš geliefert, wobei die Lieferung bis zum Ende des Jahres 2012 abgeschlossen sein soll. Die zweiteiligen Fahrzeuge haben eine Kapazität von 120 Sitzplätzen und eine Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h. Es handelt sich ebenfalls um die ersten klimatisierten Triebwagengarnituren der Serbischen Eisenbahnen. Weitere Beschaffungen von Triebfahrzeugen bleiben jedoch vorerst aus. (26)

Der von der Europäischen Union für die Westbalkanregion (ehemaliges Jugoslawien und Albanien) vorgeschlagene *Verkehrs-Masterplan für Serbien* (27) geht von folgenden notwendigen Ausbaumaßnahmen des Streckennetzes aus:

1. Stara Pazova – Subotica (Korridor X): Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke, Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h, Herstellung eines zweiten Gleises, Implementierung von ERTMS (European Rail Traffic Management System)
2. Velika Plana – Stalać (Korridor X): Umfassende Sanierung der bestehenden zweigleisigen Bahnstrecke, deren Ertüchtigung auf 160 km/h und die Einführung von ERTMS
3. Đunis – Trupale (Korridor X): Umfassende Sanierung der bestehenden zweigleisigen Bahnstrecke, deren Ertüchtigung auf 160 km/h und die Einführung von ERTMS
4. Stara Pazova – Šid (Korridor X): Umfassende Sanierung der bestehenden zweigleisigen Bahnstrecke, deren Ertüchtigung auf 160 km/h und die Einführung von ERTMS
5. Resnik – M. Krsna – V. Plana (Korridor X): Umfassende Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke, Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h, Herstellung eines zweiten Gleises, Implementierung von ERTMS
6. Stalać – Đunis (Korridor X): Bau einer neuen zweigleisigen Bahnstrecke mit einer maximalen Projektierungsgeschwindigkeit von 160 km/h und Implementierung von ERTMS
7. Niš – Preševo (Korridor X): Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke, Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h, Herstellung eines zweiten Gleises, Implementierung von ERTMS

8. Niš – Dimitrovgrad (Korridor X): Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke, Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h, Herstellung eines zweiten Gleises, Implementierung von ERTMS
9. Resnik – Palanka – V. Plana (Korridor X): Umfassende Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke, Erhöhung der Geschwindigkeit auf 160 km/h, Herstellung eines zweiten Gleises, Implementierung von ERTMS. Dieses Projekt ist als Alternativprojekt zu Projekt 5 anzusehen.
10. Sanierung von Regionalstrecken: Sanierung ausgewählter Regionalstrecken auf ihre Projektierungsgeschwindigkeit
11. Valjevo – Loznica: Bau einer neuen eingleisigen Bahnstrecke mit einer Projektierungsgeschwindigkeit von 120 km/h. Diese Verbindung hat eine strategische Bedeutung für Serbien und die Verbindung mit Bosnien-Herzegowina
12. Beograd – Vrbnica (Bar): Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke und Erhöhung der Geschwindigkeit auf 120 km/h. Diese Strecke hat auch eine große strategische Bedeutung für Serbien durch die schnelle Verbindung zum Hafen Bar
13. Beograd – Flughafen – Batajnica: Bau einer neuen zweigleisigen Bahnstrecke mit einer Projektierungsgeschwindigkeit von 160 km/h und Implementierung von ERTMS. Diese Strecke verbindet das Zentrum Belgrads mit dem Flughafen und der Strecke nach Novi Sad
14. Beograd – Vršac: Sanierung der bestehenden eingleisigen Bahnstrecke und Erhöhung der Geschwindigkeit auf 120 km/h. Diese Strecke hat auch eine hohe strategische Bedeutung für Serbien, da sie die Verbindung mit Rumänien ermöglicht

Abbildung 10 zeigt diese 14 Maßnahmen in unterschiedlichen Farben dargestellt. Die Baukosten für die vorgeschlagenen Projekte belaufen sich auf über fünf Milliarden Euro wovon die ausgewählten Regionalstrecken ein Fünftel ausmachen. Es ist somit von keiner kurz- bis mittelfristigen Realisierung dieser Vorschläge auszugehen. Die vorhandenen Mittel werden anzunehmender Weise wie bisher in kleinere, einzelne Projekte investiert werden.



Abbildung 10: Übersicht der 14 von der EU vorgeschlagenen Projekte zur Verbesserung des Schienenverkehrs in Serbien (27)

4 Angebotsverbesserung im Personenverkehr durch Taktfahrpläne

4.1 Grundlegendes

Das derzeitige Angebot der Serbischen Eisenbahnen im Personenverkehr erweist sich als unzureichend. (3) Viele Züge fallen wegen Triebfahrzeugmangels aus bzw. müssen auf Grund des Wagenmangels verkürzt geführt werden. Somit kann nicht einmal das bereits sehr eingeschränkte, in den Fahrplänen veröffentlichte, Zugsangebot abgewickelt werden. Dies führt zu rückläufigen Passagierzahlen im Inlandsverkehr. (16)

Ein weiteres Problem für die Reisenden sind die bereits erwähnten Verspätungen, die auf Grund des schlechten Streckenzustandes und mangelhafter Signalisierung entstehen. Langsamfahrstellen müssen oft vorübergehend eingerichtet werden und bleiben mangels Investitionen bestehen, können jedoch nicht in den Fahrplan eingearbeitet werden. Durch Störungen des Zugfunks ist die Kommunikation zwischen Lokführern und Fahrdienstleitern vielmals eingeschränkt und es müssen Halte an Stopp zeigenden Signalen eingelegt werden. Somit ist es rein technisch nicht möglich, die rechnerischen (in den Fahrplänen veröffentlichten) Fahrzeiten einhalten zu können. Besonders betrifft dies die Strecken Beograd – Niš – Preševo und Beograd – Užice – Prijepolje. Die Verspätungsstatistik der montenegrinischen Bahnen weist etwa für den vierzehntägigen Vergleichszeitraum von 5. bis 18. November 2011 eine durchschnittliche Verspätung des Tagzuges aus Belgrad bei der Übernahme in Bijelo Polje von 76 Minuten und des Nachtzuges von 108 Minuten aus. (28)

Um dem Trend der rückläufigen Passagierzahlen durch eine Verbesserung der Betriebsqualität entgegenzuwirken, sind Verbesserungen im Fahrplankonzept unerlässlich. Einerseits sollten die Fahrtzeiten realistisch angenommen werden, andererseits würde eine weitere Fahrzeitverlängerung zu einem noch größeren Fahrgastenschwund führen, denn bereits jetzt liegen die Fahrzeiten um bis zu einem Drittel über denen von 1990. (8), (21)

Die schwierige wirtschaftliche Lage des Staates erlaubt auch keine umfassenden Investitionen in rollendes Material oder eine grundlegende Erneuerung der Infrastruktur. Die Staatsschulden betragen 2010 42,9% des Bruttoinlandsprodukts (33,6 Milliarden US-Dollar), das Budgetdefizit 4,9% des BIP, die Inflationsrate 6,3% und der Leitzinssatz 12%. Der serbische Staat importiert nahezu die doppelte Menge seiner Exporte und zusätzliche Wirtschaftszweige wie Tourismus sind kaum vorhanden. Somit ist nicht von einer baldigen Verbesserung der wirtschaftlichen Situation auszugehen. (29)

Aus diesem Grund wird im vorliegenden Kapitel nicht auf die oben angeführten von der EU vorgeschlagenen Infrastrukturausbauten eingegangen, sondern versucht, ein Betriebskonzept zu erarbeiten, welches mit minimalen Zusatzinvestitionen realisierbar ist. Dazu zählen bedarfsangepasste Fahrpläne, eine effektivere Einsatzplanung des rollenden Materials, die Reduktion der Verspätungen und eine Verbesserung des öffentlichen Images der Eisenbahn. *Entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg von Unternehmen des Schienenpersonenverkehrs ist der Fahrplan, durch den Erlöse und Kosten des Unternehmens wesentlich beeinflusst werden*, führt Beck (30) aus, weshalb darauf besonders eingegangen werden soll.

Erfahrungen aus anderen Ländern zeigen, dass mittels eines Integralen Taktfahrplanes (ITF) eine enorme Attraktivierung des Verkehrssystems Eisenbahn einher geht. (31) Der Bahnverkehr wird stärker in Anspruch genommen, was in Folge auch zu einem Ertragszuwachs der Eisenbahnverkehrsunternehmen führt. So stiegen die insgesamt zurückgelegten Zugskilometer der Schweizerischen Bundesbahnen von 1982 (Einführung eines landesweiten Taktfahrplanes) bis 2005 von 74,1 Millionen pro Jahr auf 109,3 Millionen pro Jahr, ohne dass in diesem Zeitraum eine relevante Verkürzung der reinen Fahrzeiten (sehr wohl aber durch die Vertaktung eine der Gesamtreisezeiten) stattgefunden hat. (32) Daher werden im Folgenden die Grundsätze eines ITF erklärt und dann deren Anwendung auf das Streckennetz der serbischen Eisenbahnen geprüft.

4.2 Der Integrale Taktfahrplan

Zunächst erscheint es notwendig, den Begriff des Integralen Taktfahrplans (ITF) zu definieren. Von einem *Takt* spricht man, wenn sich ein bestimmter Vorgang periodisch wiederholt. In Bezug auf einen Fahrplan ist also gemeint, dass die Zugfahrten auf einer Linie in einem vorgegebenen Abstand aufeinander folgen. Verkehren alle Linien eines Netzes in einem derartigen Takt, handelt es sich um einen *Taktfahrplan*. Dabei ist die *Taktzeit* t_T das Intervall zwischen zwei Zugfahrten in die gleiche Richtung (vom selben Ort aus). (30)

Bei einem *symmetrischen Taktfahrplan* verkehren die Züge nach Beck (30) in Paaren von Hin- und Rückfahrten mit identischen Fahrzeiten für beide Richtungen. Die Züge treffen sich im Abstand der halben Taktzeit und diese Zeit wird *Symmetriezeit* genannt.

Als zweckmäßig erweist es sich, für die Taktzeit ganzzahlige Teiler (oder Vielfache, je nach Frequenzbedarf) von ganzen Stunden anzuwenden, da sich so eine leichte Merkbarkeit der Fahrzeiten ergibt, was zu einer Reduktion der Hemmschwelle bei der Benützung der Eisenbahn und zur Verbesserung ihres Images führt. Beck (30) bezeichnet diese Taktfahrpläne als solche im *engeren Sinne*. Liegt die Symmetriezeit bei einer ganzen Stunde (Minute 00), lassen sich aus bekannten Zeiten für die Hinfahrt problemlos jene für die Rückfahrt ausrechnen. (33)

Ein Beispiel für einen derartigen Fahrplan zeigt Abbildung 11. Dabei ist ein Ein-Stunden-Grundtakt zur Symmetrieminute 00 (rote Linien) vorgesehen, der mit einem weiteren, um 30 Minuten zeitversetzten, Ein-Stunden-Takt überlagert wird und somit zwischen Zürich und Bern einen Halbstundentakt ergibt. Olten liegt genau in der Mitte, weshalb sich die Züge dort begegnen.

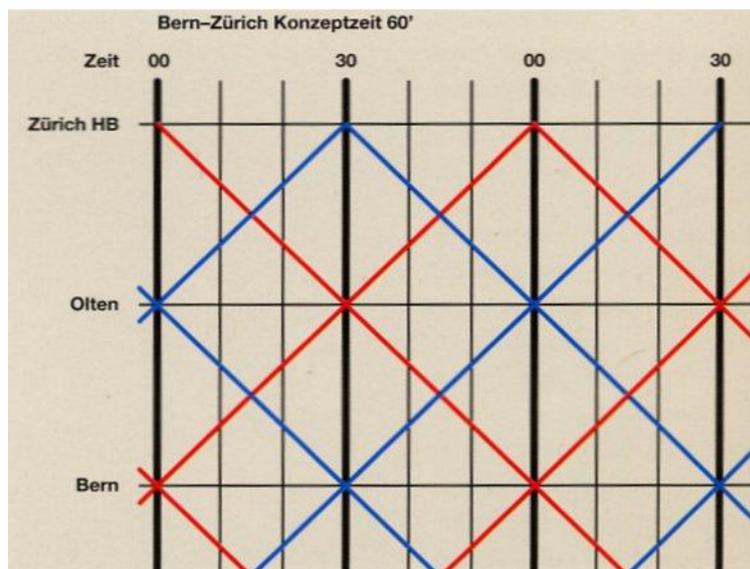


Abbildung 11: Ausschnitt aus einem Taktkonzept für die Strecke Zürich – Bern (33)

Unter einem *idealen integralen Taktfahrplan* versteht man nun einen symmetrischen Taktfahrplan, in dem die Linien systematisch miteinander verknüpft werden, so dass in den Verknüpfungspunkten optimale Anschlüsse zwischen den einzelnen Linien ermöglicht werden. Unabdingbar dafür sind systemeinheitliche Symmetrie- und Taktzeiten, eine netzweite Einbindung möglichst aller Linien sowie das Aufrechterhalten des Angebotes über den ganzen Tag. (31)

Aus geografischen, wirtschaftlichen oder verkehrlichen Gründen ist dieser ideale ITF jedoch nicht immer realisierbar, was zu einem *modifizierten integralen Taktfahrplan* führt. Dabei können etwa bestimmte Verknüpfungen nicht realisiert werden (Richtungsanschlüsse statt Vollknoten), einzelne Linien ganztägig oder zu bestimmten Zeiten mit einer abweichenden (z.B. verdoppelten) Taktzeit geführt werden bzw. nicht im Takt und mit einem anderen Halteschema verkehrende Züge (Schülerverkehr etwa) eingeschoben werden. (31)

Schließlich existiert nach Meinung mancher Autoren noch ein *integraler Taktfahrplan im erweiterten Sinne*, d.h. *Taktfahrplan* als Oberbegriff für Maßnahmen, welche den öffentlichen Verkehr attraktiver gestalten. Dabei werden gewöhnlich Elemente eines ITF in Verbindung mit zusätzlichen Maßnahmen wie dem Einsatz moderner Fahrzeuge, Schaffung von Verkehrsverbänden mit günstigen Tarifen oder einem leichten Zugang zu den Verkehrsmitteln eingesetzt. Der Begriff *ITF* fungiert dabei als Marketing-Schlagwort. (31)

Für einen idealen ITF gibt es mathematische Randbedingungen für die Takt- und Symmetriezeiten, die Fahrzeiten zwischen zwei Verknüpfungspunkten (Kantengleichung) sowie jene über eine geschlossene Netzmasche (Kreisgleichung). Da sich die Züge im Abstand der halben Taktzeit an den so genannten *Taktknoten* begegnen ist es sinnvoll, wenn an diesen Stellen auch Verknüpfungspunkte möglich sind. Daraus ergibt sich die Forderung nach gleichen Takt- und Symmetriezeiten im gesamten Netz. (31)

Die *Kantenzeit* t_K , also die Zeit zwischen zwei Taktknoten, sollte der halben Taktzeit oder einem Vielfachen davon entsprechen $t_K = n \cdot 0,5 \cdot t_T$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ wobei in dieser Zeit die reine Fahrzeit zwischen den beiden Knoten, die anteiligen Haltezeiten in diesen sowie etwaige Unterwegsaufenthalte beinhaltet sind. Ist dies für alle Kanten im Netz der Fall, ist die so genannte *Kantengleichung* erfüllt, was eine Voraussetzung für einen idealen ITF darstellt. (31)

Wie bereits erläutert wurde, spielt aber auch die Verknüpfung der Linien im Netz eine große Rolle. Die Summe aller Kantenzeiten beliebiger Kreise im Netz, wobei man unter Kreis eine Fahrt über eine Folge von Kanten, an deren Ende man wieder am Ursprungspunkt ankommt, versteht soll einem ganzzahligen Vielfachen der Taktzeit entsprechen. $\sum t_K = n \cdot t_T$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ Durch diese Bedingung, die Kreisgleichung genannt wird, sind die Gestaltungsspielräume für den ITF sehr stark eingeschränkt. Abbildung 12 enthält durchaus häufige Netzformen, für die ein idealer ITF nicht möglich ist. (31)

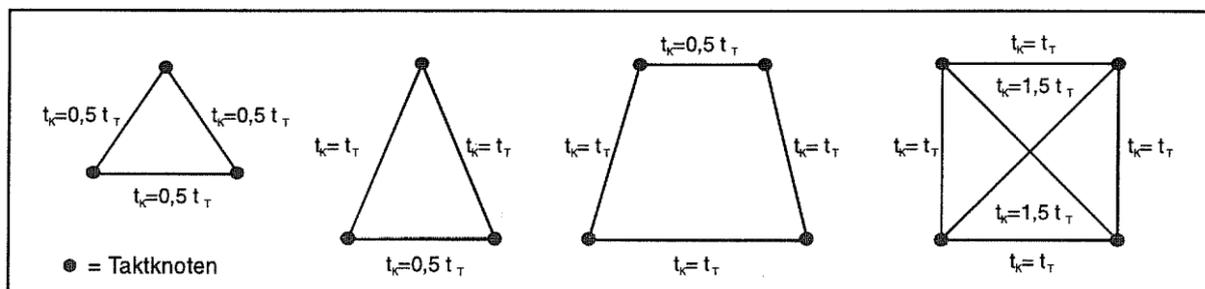


Abbildung 12: Beispiele für nicht in einen idealen ITF integrierbare Netzformen (31)

Da die Streckenlängen bei einem bestehenden System nicht verändert werden können, ist eine Veränderung der Kantenzeiten nur durch eine Variation der Geschwindigkeit zu erreichen. Die Kantenzeiten können sowohl verkürzt (z.B. bessere Beschleunigung, Streckenausbau, Reduktion der Zwischenhalte) als auch verlängert (z.B. Senkung der Beförderungsgeschwindigkeit, zusätzliche Halte) werden, um die beiden Bedingungen zu erfüllen. Für die Kantenzeiten wird die Prämisse „so schnell wie möglich“ durch „so schnell wie nötig“ ersetzt. Eine Eins-zu-Eins-Übertragung des idealen Modells auf die Realität ist jedoch praktisch unmöglich. (31)

Jene Bahnhöfe, die Taktknoten darstellen, müssen auch diverse weitere Bedingungen erfüllen. Durch die Verknüpfungen treffen viele Züge gleichzeitig oder kurz nacheinander ein und fahren ebenso wieder weg. Im klassischen österreichischen Taktknoten Wiener Neustadt fahren als Beispiel zwischen 13:32 und 13:43 elf Züge ab, zwischen 14:00 und 14:10 fünf weitere und in übrigen Zeitraum von 12:30 bis 13:30 kein einziger. (34) Zur Symmetriezeit ist somit eine Vielzahl an gleichzeitig verfügbaren Bahnsteigen erforderlich. Um das Umsteigen zu beschleunigen ist auf kurze und einfach zu bewältigende Wege zu achten. So sollte zumindest in den Hauptumstiegsrichtungen ein bahnsteiggleicher Zugwechsel möglich sein. Dies kann durch die Mehrfachnutzung von

Bahnsteigen und entsprechende Weichenverbindungen (zwei Abschnitte für haltende Züge) ermöglicht werden. (31)

Bei der Fahrplanerstellung ist ein hierarchisches Konzept unerlässlich. Es sind zunächst die vorhandenen Strecken und die Verkehrsbedürfnisse zu analysieren, wodurch Linien und Knotenpunkte festgelegt werden können. (30) Nach der Berechnung sämtlicher Fahrzeiten und Festlegung der Kantenzeiten kann man mit der Verknüpfung der Linien beginnen, wobei es sich bewährt, zunächst die Linien mit einer großen Zahl an Verknüpfungen festzulegen, da sich kürzere Linien leichter in das Gesamtsystem integrieren lassen. Sind die Fahrzeiten systemweit bekannt, kann mit der Umlaufplanung begonnen und der Fahrzeugbedarf abgeschätzt werden. An dieser Stelle ist auch eine Plausibilitätsprüfung hinsichtlich der Kapazitäten von Strecken und Bahnhöfen (Kreuzungen auf eingleisigen Strecken und verfügbare Bahnsteige etwa) von Nöten. In weiteren Iterationen kann das vorliegende System dann optimiert, ergänzt und verdichtet werden. (31)

Mehr noch als bei herkömmlichen Fahrplänen steht und fällt das System eines ITF mit der Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit der einzelnen Züge. Bedingt durch die meist kurzen Übergangszeiten ist im Falle von Verspätungen einer Linie entweder der Anschluss nicht einzuhalten oder es wird durch das Abwarten mindestens ein weiterer Zug verspätet, was im nächsten Knoten wiederum zu Verspätungen führen würde und so innert kurzer Zeit das gesamte Netz umfasst. (31) Eine wichtige Aufgabe fällt somit der Disposition zu, welche entscheiden muss, ob und welche Anschlüsse im Verspätungsfall einzuhalten sind und welche aufgegeben werden. (35)

Um die Verspätungen systemweit einzudämmen ist es wichtig, dass die Fahr- und Umlaufpläne Reserven enthalten, ungeplante Langsamfahrstellen kleinräumig bleiben und rasch beseitigt werden sowie in Knotenpunkten ausreichende Umsteigezeiten verbunden mit guter Fahrgastinformation verfügbar sind. Kleine Verspätungen können so wieder eingeholt werden, bei großen Verspätungen ist ein Abwarten von Anschlusszügen nicht vorzusehen. Eine Ausnahme ist natürlich der Fall der letzten möglichen Verbindung am Abend. Gerade durch die Notwendigkeit einer Verspätungsreduktion ergibt sich aber auch eine weitere Verbesserung des öffentlichen Ansehens der Eisenbahn. (31)

Bei der Einführung des Neuen Austrotakts (NAT) bei den ÖBB 1991 wurden im Vorfeld die betrieblichen Vorschriften hinsichtlich des Abwartens von Anschlusszügen geändert, zusätzliche Blockstellen zur Erhöhung der Streckenkapazität errichtet und insgesamt ca. 250 Geschwindigkeitsanhebungen durch Auflassung von Eisenbahnkreuzungen sowie Sanierung des Oberbaues und von Weichen realisiert. (36) Tatsächlich wurde bei der ersten Überprüfung einen Monat nach der Realisierung des NAT eine überwiegend positive Bilanz gezogen. Bis auf kleinere Probleme bei eingleisigen Streckenabschnitten und Übergaben aus dem Ausland hielten sich die Verspätungen in einem akzeptablen Rahmen und die Verfügbarkeit von Personal und rollendem Material lag über den Erwartungen bzw. Befürchtungen. (37)

Prinzipiell kann man sagen dass ein ITF, auch wenn er modifiziert wird, eine Verbesserung des Systems Eisenbahn für den Fahrgast bewirkt. Nicht sinnvoll ist er lediglich in Bereichen, wo ein Umsteigen praktisch nicht notwendig ist, die Zugsfrequenz nur einen Vier-Stunden-Takt oder noch weniger rechtfertigen würde beziehungsweise auf diversen innerstädtischen Systemen. Für diese Anwendungsgebiete sind andere Fahrplansysteme passender. (31)

4.3 Erstellung von Taktkonzepten

Die Erstellung eines möglichen Taktfahrplanschemas für Serbien gestaltet sich, wie bereits angedeutet, in mehreren Schritten. Zunächst werden das Schienennetz (Abbildung 4) und die Lage der größeren Städte (Tabelle 5) analysiert sowie mit dem derzeitigen Zugsangebot verglichen. Daraus ergeben sich folgende wichtigen Linien:

IC-Linie Beograd – Novi Sad – Subotica

IC-Linie Beograd – Lapovo – Stalać – Niš

IC-Linie Beograd – Valjevo – Požega – Užice

IC-Linie Niš – Stalać – Kraljevo – Požega – Užice

IC-Linie Beograd – Lapovo – Kragujevac – Kraljevo – Čačak

EC-Linie Beograd – Sr. Mitrovica – Vinkovci (Kroatien - HR)

EC-Linie Beograd – Pančevo – Vršac – Timișoara (Rumänien - RO)

Züge auf den Linien Beograd – Subotica und Beograd – Užice können nach Ungarn (Budapest) und Montenegro (Bar) verlängert werden, auf der Linie Beograd - Niš nach Sofia (Bulgarien) und Skopje (Mazedonien).

Auf diesen sieben Linien (mit den entsprechenden Verlängerungen) liegen 13 der 18 serbischen Städte über 50.000 Einwohnern und es sind sämtliche Strecken, auf denen derzeit Schnellzugsverkehr stattfindet, inkludiert. Über in den Knotenpunkten verknüpfte Regionalverkehrsstrecken sind weitere vier Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern erreichbar. Auf den genannten Linien liegen weiters bedeutende Touristenzentren wie Vrnjačka Banja und Vranje (Heilbäder) sowie Zlatibor (Wintersportzentrum). Mit Ausnahme von Bosnien-Herzegowina (wohin es derzeit allerdings nur eine Bahnverbindung über Kroatien gibt) sind alle Nachbarstaaten Serbiens über diese Linien mit Einbeziehung ihrer Verlängerungen erreichbar.

Das Halteschema wird ebenfalls auf dem derzeitigen Angebot und den Erfordernissen von Knotenpunkten und Umsteigeverbindungen aufgebaut. Überlegungen zu zwei Kategorien von Fernverkehrszügen (eine übergeordnete mit weniger Zwischenhalten) wurden verworfen, da bedingt durch die netzimmanent niedrigen Reisegeschwindigkeiten Halte nicht so stark ins Gewicht fallen. So benötigt ein Regionalzug auf der Strecke Beograd – Niš lediglich 36% länger als ein Schnellzug, obwohl er sechs Mal so oft hält. (12) Eine Reduktion der Halte würde somit die Wirtschaftlichkeit erheblich senken und wird daher nur in Ausnahmefällen angestrebt. Bei der Auswahl der Halte wurde neben der Einwohnerzahl auch die Zahl der verkauften Fahrkarten pro Kalenderjahr berücksichtigt, wohl wissend, dass diese mit dem verfügbaren Zugsangebot korreliert. (38)

Die Strecke Beograd – Niš ist zu etwas mehr als der Hälfte zweigleisig ausgebaut, zählt man die beiden parallelen eingleisigen Abschnitte Rakovica – Velika Plana (über Mladenovac bzw. Mala Krsna) dazu sind es fast 90%. Daher bietet es sich an, Fernverkehrszüge hier im Einbahnbetrieb verkehren zu lassen, wie es bereits derzeit praktiziert wird. Der westliche Ast weist mit Mladenovac und Palanka stärkere Besiedelung auf, während dem am östlichen Ast in Mala Krsna ein Regionalverkehrs-Umsteigeknoten nach Smederevo und Požarevac realisiert werden könnte. Die Fahrzeiten für beide Abschnitte sind annähernd dieselben. Es erscheint hier durchaus sinnvoll, den Einbahnbetrieb beizubehalten, da die Anbindung der betroffenen Städte auch durch den Regionalverkehr abgedeckt werden kann und die Gefahr von Betriebsverzögerungen durch die zahlreichen Kreuzungen zu groß erscheint. Zum Beispiel beträgt die Fahrzeit nach Tabelle 8 zwischen Rakovica und Mladenovac 62 Minuten, was eine Kreuzung ebendort unmöglich macht. Somit werden die beiden betroffenen Linien nach Süden über Mladenovac und nach Norden über Mala Krsna geführt.

In Belgrad befindet sich der Bahnhof Centar, der den derzeitigen Kopfbahnhof ersetzen soll, seit über 30 Jahren in Bau. Bisher wurden lediglich zwei Bahnsteige fertiggestellt. Das erstellte Konzept geht dennoch von der Verfügbarkeit des Bahnhofs Centar aus, da dieser als Durchgangsbahnhof betriebliche Vorteile bietet und die Zufahrtsstrecken in einem weit besseren Zustand sind. Diverse

serbische Medien hatten in den letzten Jahren über die Fertigstellung des Bahnhofes innerhalb eines Jahres berichtet, was bislang aber noch nicht geschehen ist. (39), (40)

Die Strecke Kraljevo – Kruševac – Stalać ist derzeit im Personenverkehr nicht in Betrieb, wie bereits erläutert wurde. Da sie aber eine wichtige West-Ost-Verbindung darstellt und auch derzeit in Etappen modernisiert wird, soll sie dennoch ins Konzept aufgenommen werden, wobei die Frage nach der Traktionsenergie noch offen gelassen wird, auch wenn die Elektrifizierung bereits geplant ist. Neben dem Bahnhof Beograd Centar ist dies aber die einzige größere Infrastruktur-Investition, die für das Konzept getätigt werden müsste (siehe Kapitel 4.7).

Im Folgenden findet sich eine Beschreibung der sieben Linien mit Zwischenhalten, möglichen Verlängerungen und geplantem Zugsangebot. Eine Übersichtskarte mit der detaillierten Darstellung des Grundkonzeptes findet sich in Abbildung 13. Es sind die sieben Linien mit sämtlichen geplanten Haltebahnhöfen verzeichnet und ebenfalls das derzeit befahrene Netz an Regionalverkehrsstrecken abgebildet.

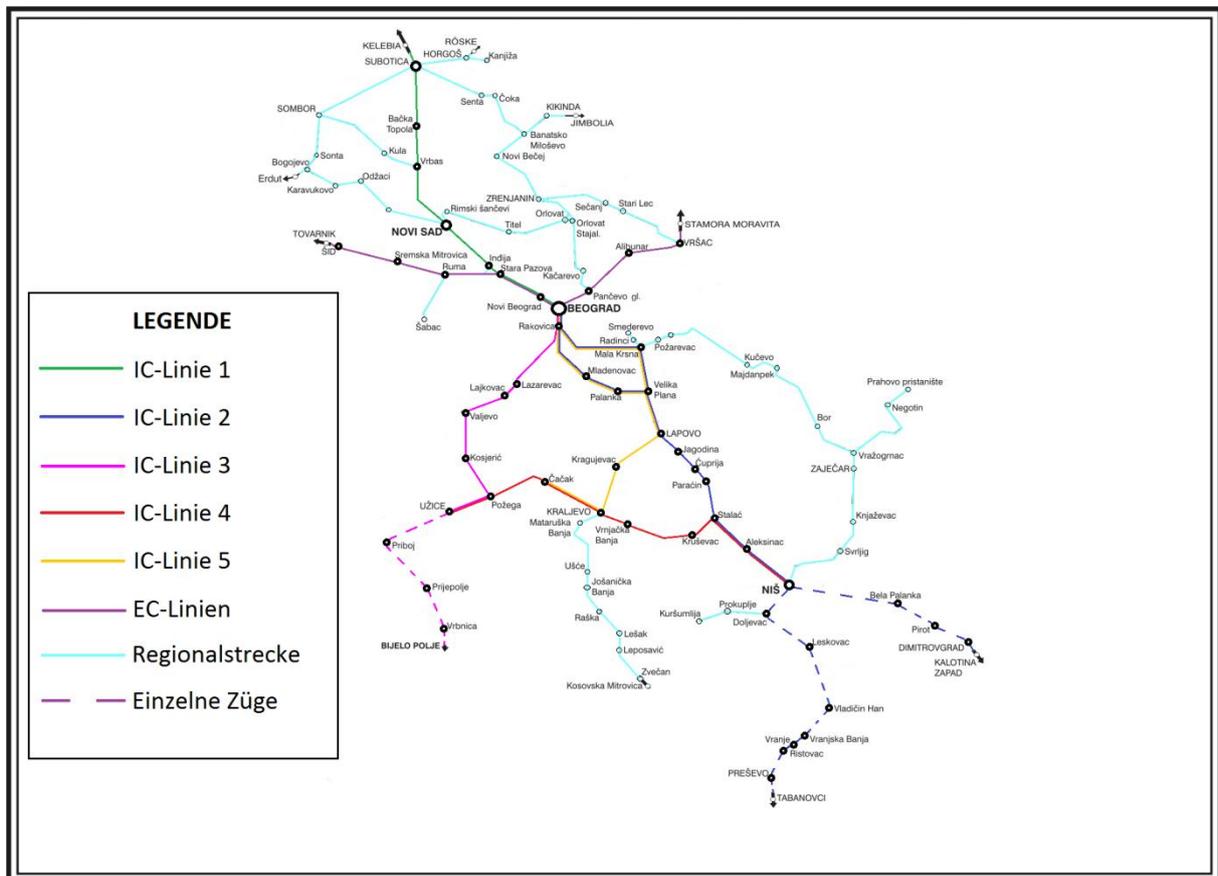


Abbildung 13: Überblick über das geplante Linienschema (eigenes Werk nach Abbildung 4)

IC-Linie 1

Laufweg:	Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Indija – Novi Sad – Vrbas – Bačka Topola – Subotica; Verlängerung nach Kelebia – Budapest möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Subotica, Vier-Stunden-Takt nach Budapest
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Stara Pazova: EC-Linie nach Zagreb Novi Sad: Regionalverkehr nach Sombor und Zrenjanin Vrbas: Regionalverkehr nach Sombor Subotica: Regionalverkehr nach Sombor, Zrenjanin und Szeged
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

IC-Linie 2

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Mladenovac – Palanka (bzw. Mala Krsna) – Velika Plana – Lapovo – Jagodina – Čuprija – Paraćin – Stalać – Aleksinac – Niš; Verlängerung nach Pirot – Sofia bzw. Leskovac – Vranje – Skopje möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Niš, einzelne Züge nach Sofia und Skopje
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Lapovo: Fern- und Regionalverkehr nach Kraljevo Stalać: IC-Linie 4 nach Kraljevo – Užice Niš: Regionalverkehr nach Dimitrovgrad, Preševo und Zaječar
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons, Diesel-Tfz Niš - Dimitrovgrad

IC-Linie 3

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Lazarevac – Lajkovac – Valjevo – Kosjerić – Požega – Užice; Verlängerung nach Podgorica – Bar möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Užice, einzelne Züge nach Bar
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Požega: IC-Linie 4 nach Kraljevo - Niš
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

IC-Linie 4

Laufweg:	Niš – Aleksinac – Stalać – Kruševac – Vrnjačka Banja – Kraljevo – Čačak – Požega – Užice
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Niš: Regionalverkehr nach Dimitrovgrad, Preševo und Zaječar Kraljevo: IC-Linie 5 nach Beograd, Regionalverkehr nach Raška Požega: IC-Linie 3 nach Beograd Užice: Fern- und Regionalverkehr nach Prijepolje – Bar
Zugbildung:	Elektr. bzw. Diesel-Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons

IC-Linie 5

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Mladenovac – Palanka (bzw. Mala Krsna) – Velika Plana – Lapovo – Kragujevac – Kraljevo – Čačak
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Lapovo: Fern- und Regionalverkehr nach Niš Kraljevo: IC-Linie 4 nach Stalać, Regionalverkehr nach Raška
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons, Diesel-Tfz ab Lapovo

EC-Linie Beograd – Zagreb

Laufweg (Serbien):	Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Ruma – Sremska Mitrovica – Šid
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Stara Pazova: IC-Linie 1 nach Subotica Ruma: Regionalverkehr nach Šabac
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-6 Waggons

EC-Linie Beograd – Timișoara

Laufweg (Serbien):	Beograd – Pančevo – Alibunar – Vršac
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Pančevo: Regionalverkehr nach Zrenjanin Vršac: Regionalverkehr nach Zrenjanin
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons, Diesel-Tfz ab Pančevo

Im nächsten Schritt wurden die theoretischen Fahrzeiten für die vorliegenden Linien nach dem Daten für 2010/2011 überschlagsmäßig händisch berechnet. (13) Als Beschleunigung wurden $0,3 \text{ m/s}^2$ angenommen, die Bremsverzögerung wurde mit $0,6 \text{ m/s}^2$ gewählt, wie es für lokbespannte Reisezüge empfohlen wird. (41) Zwischenhalte wurden mit zwei Minuten Haltezeit angenommen, im Falle von Lok- bzw. Richtungswechsel mit sieben Minuten. Sämtliche Fahrzeiten finden sich für alle Relationen in der Tabelle 8. Aus diesen Daten lassen sich bereits sinnvolle Knotenpunkte und Kantenfahrzeiten ableiten. Sämtliche Werte für Streckenlänge, zulässige Geschwindigkeiten und Langsamfahrstellen wurden serbischen Dienstbehelfen für den Fahrplan 2010/11 entnommen, wobei in mehreren Fällen eine Interpolation bzw. Rundung der Daten notwendig war. (42)

Tabelle 8: Übersicht über die Fahrzeiten der sieben geplanten Linien gemäß (13)

IC-Linie 1 Beograd - Subotica			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Novi BG	3500 m	196 s	4 min
Novi BG - St. Pazova	30000 m	1495 s	27 min
St. Pazova - Indija	7900 m	333 s	6 min
Indija - Novi Sad	35100 m	1888 s	34 min
Novi Sad - Vrbas	38200 m	2028 s	36 min
Vrbas - B. Topola	28000 m	1887 s	34 min
B. Topola - Subotica	32300 m	2435 s	43 min
Gesamtsumme	175 km	10262 s	180 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			192 min

IC-Linie 4 Niš - Užice			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Niš - Aleksinac	29200 m	1280 s	23 min
Aleksinac - Stalać	38000 m	1683 s	30 min
Stalać - Kruševac	14600 m	920 s	17 min
Kruševac - V. Banja	34000 m	2518 s	45 min
V. Banja - Kraljevo	23000 m	1689 s	30 min
Kraljevo - Čačak	34000 m	1381 s	25 min
Čačak - Požega	32500 m	1279 s	23 min
Požega - Užice	23000 m	1037 s	19 min
Gesamtsumme	228 km	11787 s	207 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			231 min

IC-Linie 2 Beograd - Niš			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Rakovica	5900 m	518 s	10 min
Rakovica - Mladenovac	44500 m	3495 s	62 min
Mladenovac - Palanka	25500 m	1509 s	27 min
Palanka - V. Plana	11800 m	471 s	9 min
V. Plana - Lapovo	19200 m	761 s	14 min
Lapovo - Jagodina	25700 m	991 s	18 min
Jagodina - Čuprija	13000 m	660 s	12 min
Čuprija - Paraćin	6900 m	318 s	6 min
Paraćin - Stalać	21100 m	804 s	15 min
Stalać - Aleksinac	38000 m	1683 s	30 min
Aleksinac - Niš	29200 m	1280 s	23 min
Gesamtsumme	241 km	12490 s	219 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			239 min

IC-Linie 5 Beograd - Čačak			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Rakovica	5900 m	518 s	10 min
Rakovica - Mladenovac	44500 m	3495 s	62 min
Mladenovac - Palanka	25500 m	1509 s	27 min
Palanka - V. Plana	11800 m	471 s	9 min
V. Plana - Lapovo	19200 m	761 s	14 min
Lapovo - Kragujevac	31200 m	2291 s	41 min
Kragujevac - Kraljevo	53500 m	4083 s	72 min
Kraljevo - Čačak	34000 m	1381 s	25 min
Gesamtsumme	226 km	14509 s	254 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			273 min

IC-Linie 3 Beograd - Užice			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Rakovica	5900 m	518 s	10 min
Rakovica - Lazarevac	50900 m	2851 s	50 min
Lazarevac - Lajkovac	7200 m	304 s	6 min
Lajkovac - Valjevo	25100 m	1002 s	18 min
Valjevo - Kosjerić	41200 m	2259 s	40 min
Kosjerić - Požega	21900 m	1432 s	26 min
Požega - Užice	23000 m	1037 s	19 min
Gesamtsumme	175 km	9403 s	165 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			177 min

EC-Linie Beograd - Kroatien			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Novi BG	3500 m	196 s	4 min
Novi BG - St. Pazova	30000 m	1495 s	27 min
St. Pazova - Ruma	28300 m	981 s	18 min
Ruma - Sr. Mitrovica	16800 m	604 s	11 min
Sr. Mitrovica - Šid	34700 m	1152 s	21 min
Gesamtsumme	113 km	4428 s	78 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			86 min

EC-Linie Beograd - Rumänien			
Strecke	Länge	Netto-Fz	Brutto-Fz
Beograd C - Pančevo	20200 m	882 s	16 min
Pančevo - Alibunar	37400 m	1333 s	24 min
Alibunar - Vršac	29300 m	1335 s	24 min
Gesamtsumme	87 km	3550 s	63 min
Gesamtfahrzeit incl. Zwischenhalten			72 min

Die Abbildung 14 zeigt nun die auf Grund dieser Fahrzeiten bestimmten Kantenfahrzeiten. Aufenthalte in Zwischenstationen wurden generell mit zwei Minuten Haltezeit angenommen. Die in der Abbildung 14 angegebenen Minutenzahlen nach Tabelle 8 geben die Fahrzeit zwischen zwei Haltebahnhöfen mit 5% Reserve und auf die nächste Minute aufgerundet an. Auf fast allen Relationen ergeben sich Kantenfahrzeiten mit einem Vielfachen von 15 Minuten, lediglich zwischen Kraljevo und Stalać (100 Minuten) sowie Požega – Užice (20 Minuten) ist keine Takteingliederung möglich. Im ersteren Fall wurde mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h zwischen Kraljevo und Kruševac gerechnet (Nach der Dienstvorschrift wären 60 km/h erlaubt, wegen der Bauarbeiten sind es derzeit 25 km/h) und es wird vorerst eine Fahrzeitverlängerung auf 120 Minuten angedacht. Der zweite Fall ist weniger von Bedeutung, da sich mangels Linienkreuzungen in Užice kein Knoten befinden muss. Die drei von Beograd Centar ausgehenden Kanten weisen ebenfalls keine harmonisch ins Konzept passenden Fahrzeiten auf, was aber dadurch kompensiert wird, dass die betroffenen Kanten die jeweils ersten bzw. letzten im Fahrweg der Züge sind und somit durch längere Haltezeiten in den Belgrader Bahnhöfen bzw. in Pančevo (Lokwechsel) auf 15 bzw. 30 Minuten gestreckt werden können.

Generell ist zu sagen dass sich zwei Hauptbereiche ergeben, auf welche die Optimierung abzielen wird: Einerseits das Dreieck zwischen Rakovica, Požega und Stalać, von dem alle weiteren Strecken ohne erneute Verknüpfung abzweigen und welches somit das einzige ist, in dem jede Änderung unmittelbare Auswirkungen auf das gesamte Taktgefüge hat. Andererseits der Knoten Beograd Centar, in dem der Übergang zwischen dem nördlichen (IC-Linie 1 und Eurocitys) und südlichen Teilnetz bzw. sechs der sieben Linien stattfindet und wo möglichst passable Übergangszeiten gefunden werden sollen.



Abbildung 14: Fahrzeiten zwischen den Knotenpunkten (eigenes Werk nach Abbildung 4)

Die Kreisgleichung in Bezug auf einen Zweistundentakt ist auf den dafür in Frage kommenden drei Dreiecken Rakovica – Požega – Kraljevo – Lapovo – Rakovica, Rakovica – Požega – Stalać – Rakovica und Lapovo – Kraljevo – Stalać – Lapovo nicht erfüllt, womit nicht alle diese Bahnhöfe als Vollknoten ausgebildet werden können. Die Kantengleichung ist auf allen Relationen dieser Strecken außer Rakovica – Požega erfüllt. Abbildung 15 zeigt einen Vergleich der entsprechenden Dreiecke samt Kantenzeiten in Minuten für das oben angeführte Grundkonzept und zwei mögliche Taktkonzepte (mehr dazu in den Kapiteln 4.4 und 4.5).

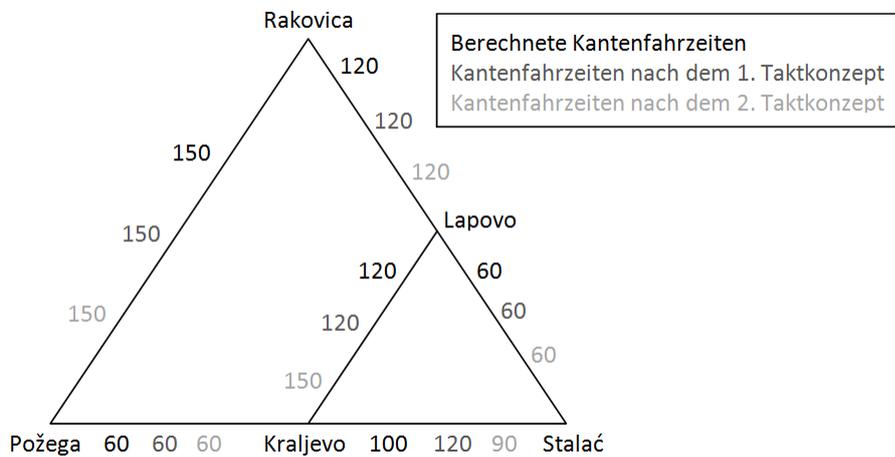


Abbildung 15: Vergleich verschiedener Kantenzugzeiten auf den drei Kreisen zwischen Rakovica, Požega, Kraljevo, Stalać und Lapovo (eigenes Werk)

4.4 Erstes Taktkonzept

Aufbauend auf die in Abbildung 14 gezeigten Kantenfahrzeiten wird ein erstes Taktkonzept erstellt, welches die in Abbildung 13 gezeigten und in Folge beschriebenen Linien den einzelnen Kanten zuordnet, wobei einzelne Linien geringfügig adaptiert werden. Die augenscheinlichste Veränderung ist die Aufassung der ursprünglich geplanten IC-Linie Niš - Užice und die damit verbundene Verlängerung der IC-Linie Beograd – Čačak bis Požega. Zwischen Kraljevo und Stalać wird ein Pendelverkehr mit einer Ergänzungslinie (Eilzugscharakter) eingerichtet. Die Gründe dafür sind die guten Anschlüsse (Vollknoten) in Požega, Kraljevo und Stalać bei einer Kantenfahrzeit von zwei Stunden für Stalać – Kraljevo, womit auf diesem Abschnitt vermehrte Halte ermöglicht werden. Die Auswahl dieser Haltebahnhöfe ist noch zu treffen.

In der folgenden Abbildung 16 sind das erste Taktkonzept und sämtliche Regionallinien in ihrer Gesamtheit dargestellt, danach findet sich eine Beschreibung der Linien sowie der Knotenbahnhöfe. Bei allen wichtigen Bahnhöfen (Knotenpunkte und große Städte) sind Ankunfts- und Abfahrtszeiten der Linien in der entsprechenden Farbe angegeben. Als Symmetriezeit wurde die Minute 00 gewählt, um spiegelbildlich gleiche Ankunfts- und Abfahrtszeiten zu erhalten. Zeiten im Format $x:ab$ stehen für eine gerade Stunde, $y:cd$ bedeutet entsprechend eine ungerade Stunde.

Um eine einheitliche und übersichtliche Darstellung zu erzielen, sind die Zeitangaben immer auf der in gedachter Fahrtrichtung rechten Seite der Linie angebracht. Zwecks Vermeidung einer Überfrachtung sind die Fahrzeiten nicht bei allen Zwischenhalten vermerkt. Diese ergeben sich aber im Vergleich mit Abbildung 14 aus den entsprechenden Fahrzeiten. Noch nicht in der Abbildung berücksichtigt sind die betrieblich notwendigen Kreuzungshalte auf den eingleisigen Strecken.

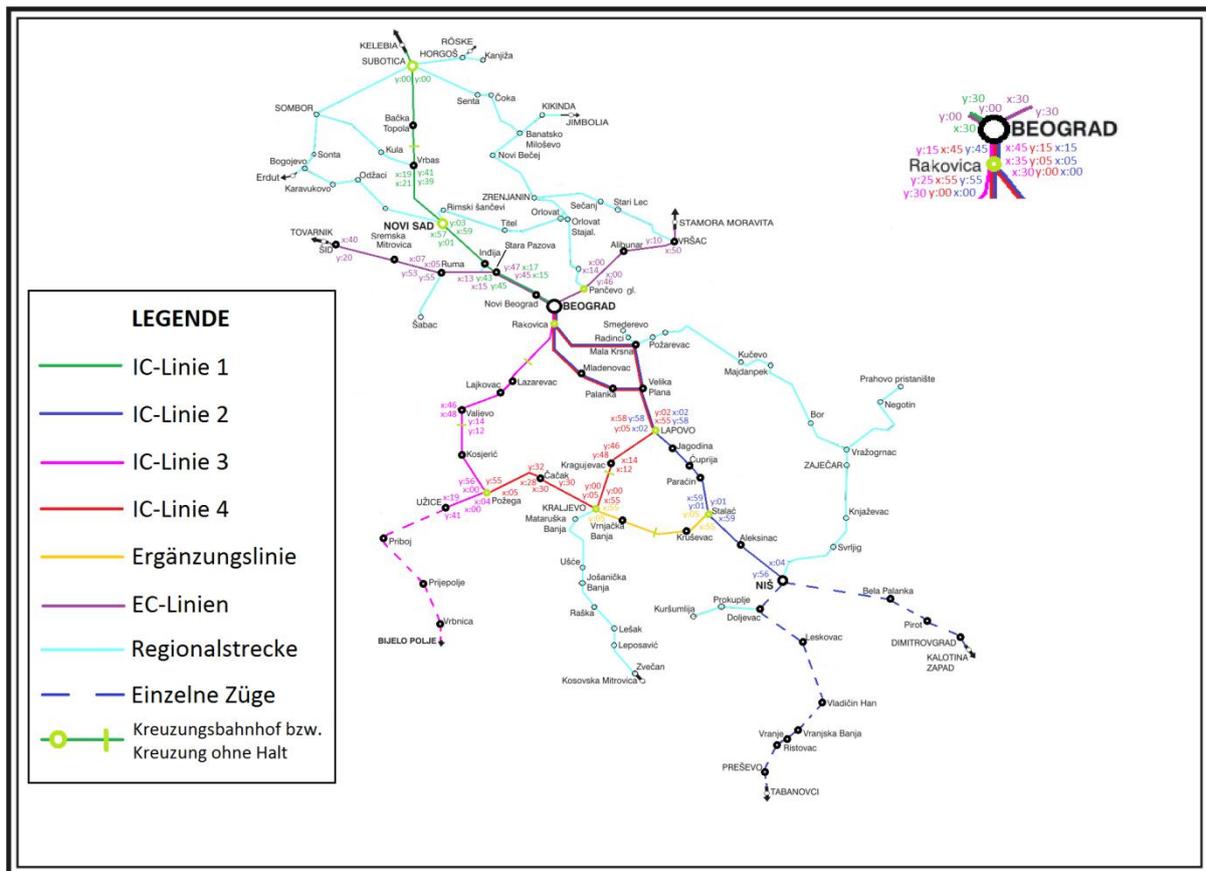


Abbildung 16: Linienschema für das erste Taktkonzept (eigenes Werk nach Abbildung 4)

IC-Linie 1 (Vojvodina)

Laufweg:	Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Inđija – Novi Sad – Vrbas – Bačka Topola – Subotica; Verlängerung nach Kelebia – Budapest möglich; In der Wendezeit in Beograd ist auch eine Durchbindung nach Pančevo möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Subotica, Vier-Stunden-Takt nach Budapest
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Stara Pazova: EC-Linie nach Zagreb Novi Sad: Regionalverkehr nach Sombor und Zrenjanin Vrbas: Regionalverkehr nach Sombor Subotica: Regionalverkehr nach Sombor, Zrenjanin und Szeged
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

IC-Linie 2 (Morava)

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Mladenovac – Palanka (bzw. Mala Krsna) – Velika Plana – Lapovo – Jagodina – Čuprija – Paraćin – Stalać – Aleksinac – Niš; Verlängerung nach Pirot – Sofia bzw. Leskovac – Vranje – Skopje möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Niš, einzelne Züge nach Sofia und Skopje
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Lapovo: etwaiger Regionalverkehr nach Kraljevo Stalać: Ergänzungslinie nach Kraljevo Niš: Regionalverkehr nach Dimitrovgrad, Preševo und Zaječar
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons, Diesel-Tfz für Niš – Dimitrovgrad nötig

IC-Linie 3 (Zlatibor)

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Lazarevac – Lajkovac – Valjevo – Kosjerić – Požega – Užice; Verlängerung nach Podgorica – Bar möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Užice, einzelne Züge nach Bar
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Požega: IC-Linie 4 nach Kraljevo
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

IC-Linie 4 (Šumadija)

Laufweg:	Beograd – Rakovica – Mladenovac – Palanka (bzw. Mala Krsna) – Velika Plana – Lapovo – Kragujevac – Kraljevo – Čačak – Požega
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Lapovo: Regionalverkehr in Richtung Niš Kraljevo: Ergänzungslinie nach Stalać, Regionalverkehr nach Raška Požega: IC-Linie 3 nach Užice und Beograd
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons, Diesel-Tfz ab Lapovo

Ergänzungslinie (Zapadna Morava)

Laufweg:	Stalać – Kruševac – Vrnjačka Banja – Kraljevo
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Stalać: IC-Linie 2 nach Niš und Beograd Kraljevo: IC-Linie 4 nach Požega und Beograd, Regionalverkehr n. Raška
Zugbildung:	Diesel- bzw. Elektrotriebwagen (zwei- oder vierteilig)

EC-Linie Beograd – Zagreb

Laufweg (Serbien): Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Ruma – Sremska Mitrovica – Šid
 Verkehrsdichte: Zwei-Stunden-Takt
 Verknüpfungen: Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen
 Stara Pazova: IC-Linie 1 nach Subotica
 Ruma: Regionalverkehr nach Šabac
 Zugbildung: Elektr. Triebfahrzeug mit 4-6 Waggons

EC-Linie Beograd – Timișoara

Laufweg (Serbien): Beograd – Pančevo – Alibunar – Vršac
 Verkehrsdichte: Zwei-Stunden-Takt
 Verknüpfungen: Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen
 Pančevo: Regionalverkehr nach Zrenjanin
 Vršac: Regionalverkehr nach Zrenjanin
 Zugbildung: Elektr. Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons, Diesel-Tfz ab Pančevo

Wie bereits erwähnt, liegt der große Vorteil des Taktfahrplanes für die Fahrgäste in meist kurzen Umsteigezeiten sowie den leicht merkbaren Abfahrts- und Ankunftszeiten. Als besseres Erkennungsmerkmal dienen auch die Linienfarben bzw. Liniennamen, mit denen eine Identifikation der Bevölkerung mit dem System Schiene angestrebt wird. Beispiele aus verschiedenen Ländern zeigen, dass die Hemmschwelle zur Benützung eines „unbekannten“ Verkehrsmittels signifikant gesenkt werden kann, wenn sich die Bevölkerung damit identifizieren kann. (33)

Kurze Umsteigezeiten konnten vor allem an den drei südlichen Knoten Požega, Kraljevo und Stalać erreicht werden. In Belgrad sind längere Wartezeiten einzurechnen, was aber akzeptabel ist, da die Verkehrsströme durch die zentrale Verwaltungsstruktur bei innerstaatlichen Reisen auf Belgrad zentriert sind und somit die Anzahl der Durchreisenden relativ gering ist. In Abbildung 17 findet sich eine Übersicht über die Taktknoten und im Folgenden eine umfassende Beschreibung dieser. Es werden wieder die oben angeführten Konventionen zur Angabe der Ankunfts- und Abfahrtszeiten sowie die Linienfarben verwendet. Die Umsteigezeit zwischen jeweils zwei Zügen ist in Minuten angegeben, wobei diese aufgrund der Symmetrie des Fahrplanes immer in beide Richtungen gilt.

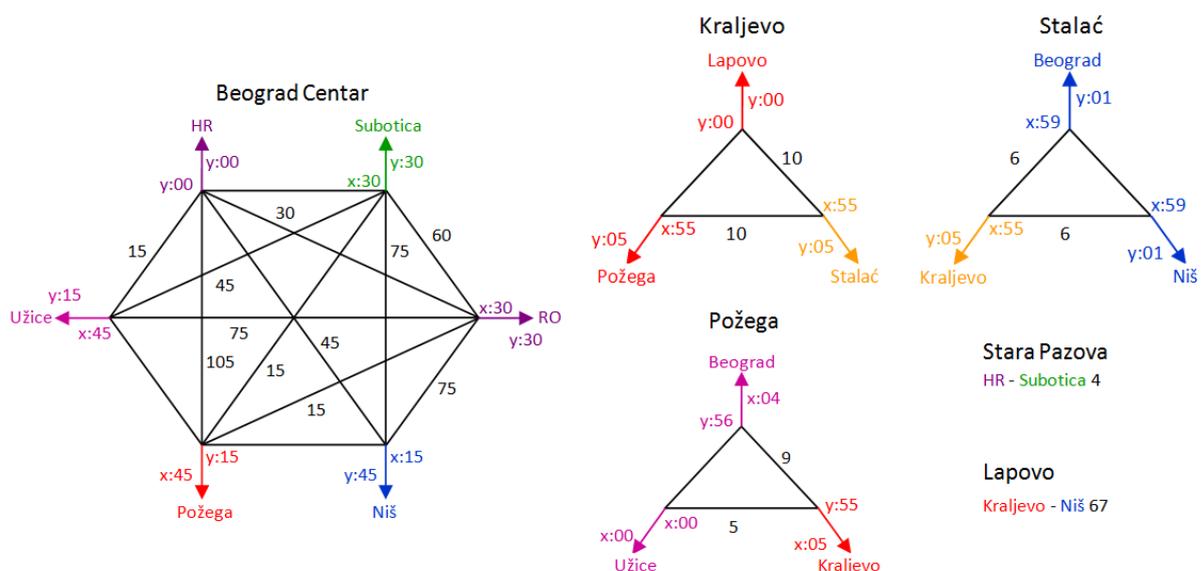


Abbildung 17: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 16 (eigenes Werk)

Beograd Centar

Im größten und wichtigsten Bahnhof des Netzes treffen sich sechs Linien. Schätzungsweise sechs Bahnsteigkanten sind dafür vonnöten, die der Bahnhof jedenfalls im Endzustand aufweisen wird. Die „kurzen“ Umsteigewege Užice – Kroatien bzw. von Požega nach Subotica und Rumänien sollten bahnsteiggleich (Doppelbelegung ist möglich) abgewickelt werden, in den anderen Relationen ist es irrelevant, da die Umsteigzeiten groß genug sind. Niveaugleiche Übergänge sind nicht vorgesehen, es gibt Unterführungen und im Endausbau auch Aufzüge.

Kraljevo

Von der durchgehenden IC-Linie 4 (5 Minuten Aufenthalt) kann in die Ergänzungslinie umgestiegen werden (10 Minuten Übergang). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

Stalac

Von der durchgehenden IC-Linie 2 (2 Minuten Aufenthalt) kann in die Ergänzungslinie umgestiegen werden (6 Minuten Übergang). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

Požega

Von der durchgehenden IC-Linie 3 (4 Minuten Aufenthalt) kann in die IC-Linie 4 umgestiegen werden (5 bzw. 9 Minuten Übergang). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

Stara Pazova

Ein Richtungsanschluss Kroatien – Subotica und umgekehrt ist möglich. Es gibt schienengleiche Übergänge, womit die vier Minuten Übergangszeit ermöglicht werden.

Lapovo

Der Richtungsanschluss Kraljevo – Niš ist nicht sinnvoll realisierbar, was zu einer theoretischen Übergangszeit von 67 Minuten führt.

4.5 Zweites Taktkonzept

Bezugnehmend auf die beiden zentralen Probleme der Optimierung ist zu sagen dass das Dreieck Rakovica – Požega – Stalać im ersten Taktkonzept bis auf den fehlenden Richtungsanschluss in Lapovo sehr gut verbunden wird. Die Anbindung nach Norden ist wegen der stark unterschiedlichen Ankunfts- und Abfahrtszeiten der drei südlichen Linien in Belgrad jedoch nicht sinnvoll realisierbar. Deshalb wird lediglich darauf geachtet, Verknüpfungspunkte abseits Belgrads nicht zu vernachlässigen, was mit dem guten Richtungsanschluss in Stara Pazova gelingt. Ein Unsicherheitsfaktor sind auch drei nötige fliegende Kreuzungen zwischen Rakovica und Požega bzw. zwischen Kragujevac und Kraljevo. Dies und die nicht zufriedenstellend langen Wartezeiten in Belgrad (Abbildung 17) führten zur Entwicklung eines weiteres Konzepts, das im Folgenden vorgestellt wird.

Kürzere Übergangszeiten in Belgrad können nur erreicht werden, wenn alle Linien zeitgleich oder zumindest in einem möglichst kurzen Zeitfenster dort eintreffen und wieder abfahren. Damit ist die Führung von zwei Linien zwischen Belgrad und Lapovo obsolet, zumal Kraljevo und Čačak mit der Umsteigeüberbindung über Požega um 35 bzw. 92 Minuten schneller erreichbar sind. Soll auch die Linie nach Užice zu einer ähnlichen Zeit Belgrad verlassen, muss sie um 30 Minuten verschoben werden, was bei sonst gleicher Konfiguration den Taktknoten Požega zerstören würde. Um dieses Problem zu lösen, wird die ursprünglich geplante Linie Stalać – Požega reaktiviert. Gute Anschlüsse an beiden Endpunkten sind aber nur möglich, wenn die Fahrzeit zwischen Stalać und Kraljevo auf unter 90 Minuten gesenkt werden kann (Abbildung 15). Dies ist möglich, da bei der Fahrzeitenrechnung nach Tabelle 8 der Abschnitt Kruševac – Kraljevo mit nur 50 km/h angenommen wurde. Mit den projektierten 60 km/h (siehe Kapitel 4.3) ist aber eine 90-Minuten-Kante möglich.

Da sich, bedingt durch die halbstündige Verschiebung, in Kraljevo nun kein Vollknoten mehr befindet und die Strecke Kraljevo – Lapovo allein eine IC-Linie nicht rechtfertigt, wird hier analog zur Vorgehensweise beim ersten Taktkonzept eine Ergänzungslinie mit vermehrten Zwischenhalten eingerichtet, deren Fahrzeit um eine halbe Stunde verlängert wird. In den mehr als 60 Minuten Wendezeit der IC-Linie aus Stalać in Požega ist es außerdem möglich Užice anzubinden, womit das Problem des verlorenen Vollknotens in Požega gelöst wird. Lediglich Kraljevo verbleibt als nicht optimal gelöster Knoten am südlichen Teilnetz, dafür bestehen in Lapovo nun ebenfalls Anschlüsse in alle Richtungen im Minutenbereich (siehe Abbildung 19). Die Kreisgleichung ist dementsprechend nur auf der Relation Lapovo – Kraljevo – Stalać – Lapovo nicht erfüllt (siehe Abbildung 15).

Im Norden ergeben sich bedingt durch die nahezu zeitgleiche Abfahrt bzw. Ankunft aller Linien in Beograd Centar leichte Verschlechterungen im Richtungsanschluss von Kroatien zur IC-Linie nach Subotica. Die Anbindung der Züge nach Rumänien an die beiden anderen nördlichen Linien bleibt suboptimal, da sie auch auf die südlichen Linien abgestimmt wurde. Diese Unzulänglichkeiten werden aber durch die immens verbesserten Umsteigezeiten nach Süden kompensiert. Eine Übersicht über das Zweite Taktkonzept bietet Abbildung 18. Die Darstellung ist an der bewährten Methodik von Abbildung 16 angelehnt. Im Weiteren finden sich wieder die Beschreibungen der Linien sowie der Knotenbahnhöfe.

IC-Linie 1 (Vojvodina)

Laufweg:	Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Inđija – Novi Sad – Vrbas – Bačka Topola – Subotica; Verlängerung nach Kelebia – Budapest möglich; In der Wendezeit in Beograd wäre eine Durchbindung nach Pančevo möglich
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt nach Subotica, Vier-Stunden-Takt nach Budapest
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Stara Pazova: EC-Linie nach Zagreb Novi Sad: Regionalverkehr nach Sombor und Zrenjanin Vrbas: Regionalverkehr nach Sombor Subotica: Regionalverkehr nach Sombor, Zrenjanin und Szeged
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

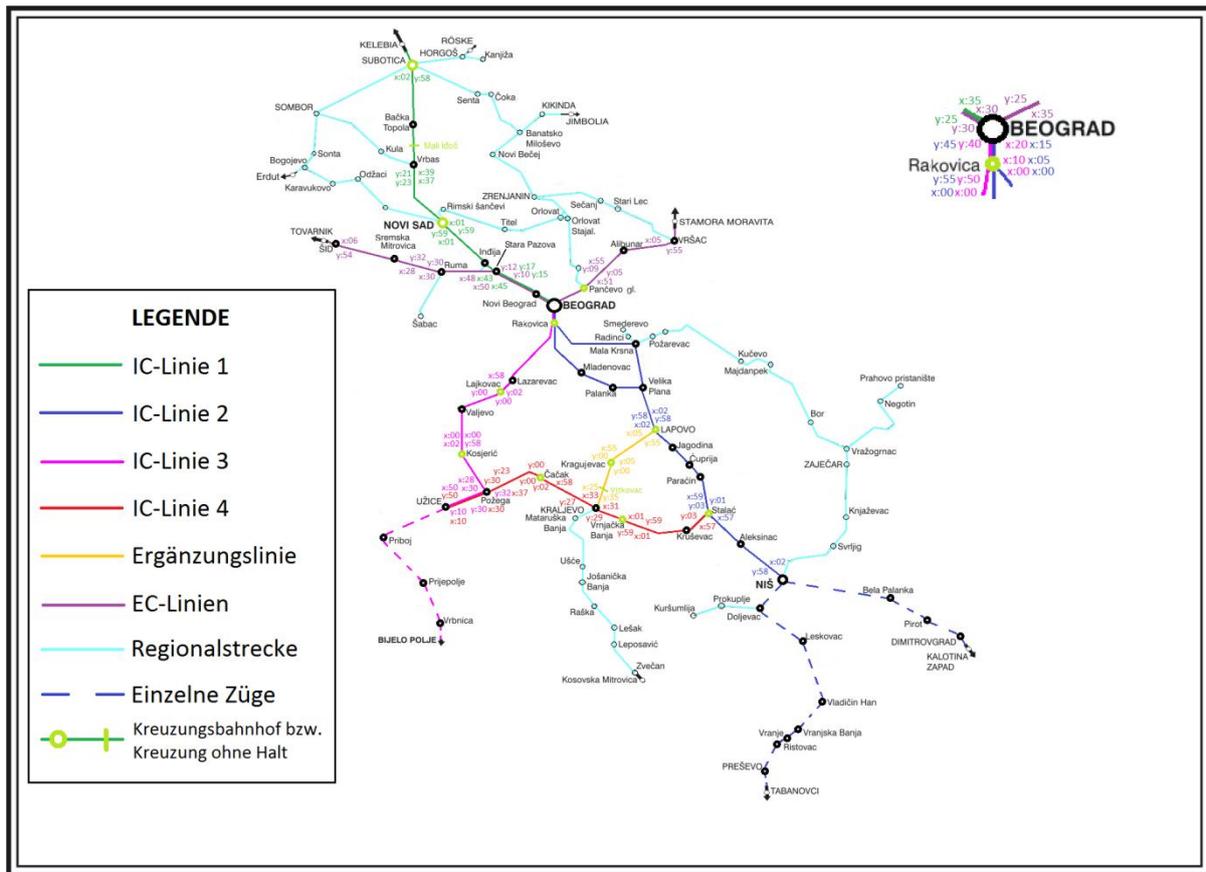


Abbildung 18: Linienschema für das Zweite Taktkonzept (eigenes Werk nach Abbildung 4)

IC-Linie 2 (Morava)

Laufweg: Beograd – Rakovica – Mladenovac – Palanka (bzw. Mala Krsna) – Velika Plana – Lapovo – Jagodina – Čuprija – Paraćin – Stalać – Aleksinac – Niš; Verlängerung nach Pirot – Sofia bzw. Leskovac – Vranje – Skopje möglich

Verkehrsdichte: Zwei-Stunden-Takt nach Niš, einzelne Züge nach Sofia und Skopje

Verknüpfungen: Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen
Lapovo: Ergänzungslinie nach Kraljevo
Stalać: IC-Linie 4 nach Kraljevo – Užice
Niš: Regionalverkehr nach Dimitrovgrad, Preševo und Zaječar

Zugbildung: Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons, Diesel-Tfz für Niš – Dimitrovgrad nötig

IC-Linie 3 (Zlatibor)

Laufweg: Beograd – Rakovica – Lazarevac – Lajkovac – Valjevo – Kosjerić – Požega – Užice; Verlängerung nach Podgorica – Bar möglich

Verkehrsdichte: Zwei-Stunden-Takt nach Užice, einzelne Züge nach Bar

Verknüpfungen: Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen
Požega: IC-Linie 4 nach Kraljevo – Stalać

Zugbildung: Elektr. Triebfahrzeug mit 4-8 Waggons

IC-Linie 4 (Raška)

Laufweg: Stalać – Kruševac – Vrnjačka Banja – Kraljevo – Čačak – Požega – Užice

Verkehrsdichte: Zwei-Stunden-Takt

Verknüpfungen: Stalać: IC-Linie 2 nach Beograd und Niš
Kraljevo: Ergänzungslinie nach Lapovo, Regionalverkehr nach Raška
Požega: IC-Linie 3 nach Beograd

Zugbildung: Diesel- bzw. elektr. Triebfahrzeug mit 3-4 Waggons oder Triebwagenzug

Ergänzungslinie (Šumadija)

Laufweg:	Lapovo – Kragujevac – Kraljevo
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Lapovo: IC-Linie 2 nach Niš und Beograd Kraljevo: IC-Linie 4 nach Užice und Stalać, Regionalverkehr nach Raška
Zugbildung:	Dieseltriebwagen (zwei- oder vierteilig)

EC-Linie Beograd – Zagreb

Laufweg (Serbien):	Beograd – Novi Beograd – Stara Pazova – Ruma – Sremska Mitrovica - Šid
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Stara Pazova: IC-Linie 1 nach Subotica Ruma: Regionalverkehr nach Šabac
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 4-6 Waggons

EC-Linie Beograd – Timișoara

Laufweg (Serbien):	Beograd – Pančevo – Alibunar - Vršac
Verkehrsdichte:	Zwei-Stunden-Takt
Verknüpfungen:	Beograd C: zahlreiche Fern- und Regionalverkehrsverbindungen Pančevo: Regionalverkehr nach Zrenjanin Vršac: Regionalverkehr nach Zrenjanin
Zugbildung:	Elektr. Triebfahrzeug mit 3-5 Waggons, Diesel-Tfz ab Pančevo

In Abbildung 18 sind auch bereits jene Bahnhöfe enthalten, in denen auf den eingleisigen Abschnitten Zugskreuzungen stattfinden. Der Großteil davon konnte in Taktknoten oder zumindest in reguläre Haltebahnhöfe gelegt werden, es verbleiben lediglich zwei solcherart nicht lösbare Konfliktpunkte. Der erste betrifft den Abschnitt zwischen Vrbas und Bačka Topola auf der IC-Linie 1. Dabei geht sich eine Kreuzung im Bahnhof Mali Idoš Polje um zwei Minuten nicht aus. Es würde sich daher anbieten, einen Abschnitt von ca. zwei Kilometern Länge südlich an den Bahnhof anschließend zweigleisig auszubauen, um so eine fliegende Kreuzung in diesem Bereich bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h zu ermöglichen. Wie der Landkarte zu entnehmen ist, befinden sich beiderseits des Bahnkörpers in diesem Abschnitt lediglich landwirtschaftliche Nutzflächen. (43)

Die zweite Kreuzung ergibt sich auf der Ergänzungslinie zwischen Kraljevo und Kragujevac. Hier bietet sich seitens des Fahrplanes eine Kreuzung im Bahnhof Vitkovac an. Da diese Linie über ausreichend Fahrzeitreserven verfügt, ist die Kreuzung als unproblematisch einzustufen. Bei Kreuzungen mit anderen, die Strecke befahrenden, Zügen (Güterverkehr und Regionalzüge) muss den Intercitys Priorität eingeräumt werden, um das Fahrplangefüge nicht zu gefährden. (44)

Die Taktknoten unterschieden sich von jenen des ersten Taktkonzeptes nicht grundlegend, weshalb sie in Abbildung 19 wieder in derselben Weise dargestellt werden. Die Umsteigezeiten gelten wiederum aufgrund der Fahrplansymmetrie in beide Richtungen. Die wichtigsten Änderungen wurden bereits erläutert, nachfolgend noch eine genaue Beschreibung der einzelnen Knotenbahnhöfe.

Kraljevo

Von der durchgehenden IC-Linie 4 (2 Minuten Aufenthalt) kann in die Ergänzungslinie umgestiegen werden (8 Minuten Übergang in Richtung Požega). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

Stalać

Von der durchgehenden IC-Linie 2 (4 Minuten Aufenthalt) kann in die IC-Linie 4 umgestiegen werden (6 Minuten Übergang). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

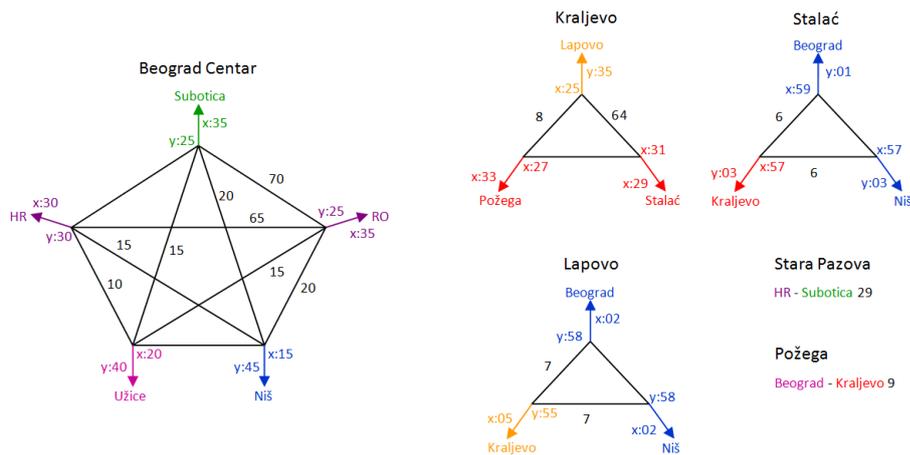


Abbildung 19: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 18 (eigenes Werk)

Beograd Centar

Im größten und wichtigsten Bahnhof des Netzes treffen sich zu annähernd gleicher Zeit fünf Linien, womit fünf Bahnsteigkanten benötigt werden, wenn eine Doppelbelegung vermieden werden soll. Ein möglicher Belegungsplan wird in Abbildung 20 gezeigt. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die geringsten Umsteigezeiten auch die geringsten Wege erhalten. Niveaugleiche Übergänge sind nicht vorgesehen, es gibt Unterführungen und im Endausbau auch Aufzüge.

Lapovo

Von der durchgehenden IC-Linie 2 (4 Minuten Aufenthalt) kann in die Ergänzungslinie umgestiegen werden (7 Minuten Übergang). Die drei dafür nötigen Bahnsteigkanten sind vorhanden und mit schienengleichen Übergängen ausgestattet, die ein rasches Umsteigen ermöglichen.

Požega

Der wichtige Richtungsanschluss Beograd – Kraljevo ist mit 9 Minuten Übergangszeit über die schienengleichen Übergänge bequem möglich.

Stara Pazova

Ein Richtungsanschluss Kroatien – Subotica und umgekehrt ist mit 29 Minuten Übergangszeit möglich.

Im Belegungsplan für Beograd Centar (Abbildung 20) werden die fünf Fernverkehrslinien dargestellt. Die Bahnsteige 1 und 2 sind für die S-Bahn (Beovoz) vorgesehen, die Bahnsteige 8, 9 und 10 und die Fernbahnsteige außerhalb ihrer Belegungszeiten für weiteren Regionalverkehr. Da derzeit noch nicht klar ist, wie der Bahnhof Beograd Centar betrieben wird, d.h. wo die Abstell- und Serviceeinrichtungen für die Lokomotiven und Personenwagen vorgesehen werden, kann auch nicht berücksichtigt werden, wie lange die Züge auf den Bahnsteigen verbleiben und von wo sie zugeführt werden. Daher geht der Belegungsplan davon aus, dass sämtliche Zugsgarnituren in den je nach Linie 60 bis 90 Minuten Wendezeit am Bahnsteig verbleiben, wo sie gereinigt und versorgt werden, was die Möglichkeit für Regionalverkehr einschränkt, wie auf (45) beruhende Überlegungen ergeben.

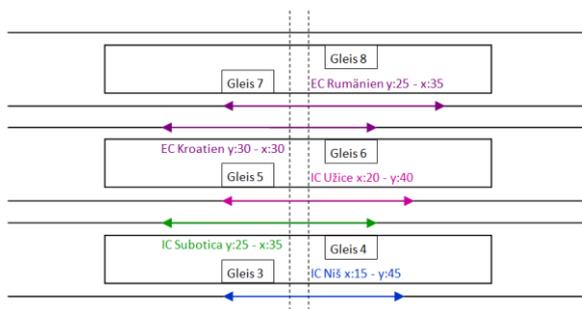


Abbildung 20: Belegungsplan für den Bahnhof Beograd Centar gemäß Abbildungen 18 und 19 (eigenes Werk)

4.6 Vergleich der Taktkonzepte

In Tabelle 9 findet sich eine Übersichtsmatrix, welche die Fahrzeiten zwischen den wichtigsten Städten entlang der sieben Linien darstellt. Die Bezeichnungen der Städte sind alphabetisch sortiert und die Kurzbezeichnungen der einzelnen Städtenamen können im Abkürzungsverzeichnis (Tabelle 14) eingesehen werden. Das obere Dreieck enthält die Fahrzeiten nach dem Ersten Taktkonzept während dem im unteren Dreieck das Zweite Taktkonzept eingetragen ist. Es ist jeweils die reine Fahrzeit zwischen den jeweiligen Bahnhöfen angegeben. Die Zahlen in Klammern geben die nötigen Umsteigevorgänge an. Ist ein Ziel mit oftmaligem Umsteigen schneller erreichbar, ist dennoch die Fahrzeit für die direkte Verbindung angegeben. Die Fußnoten (a-k) geben jedoch über die entsprechend kürzere Reisezeit Auskunft.

Tabelle 9: Fahrzeiten nach dem Ersten und Zweiten Taktkonzept (eigenes Werk)

	BG	ČA	KG	KV	KŠ	NI	NS	PA	SM	SU	UE	VA	VŠ
Beograd		4:45 a	3:01	4:15 b	3:43 (1)	4:11	1:29	0:16	1:18	3:30	3:04	1:31	1:20
Čačak	3:20 (1)		1:42	0:25	2:00 (1)	3:26 (2)	6:29 (1) c	5:16 (1) d	7:48 (1) e	8:30 (1) f	0:47 (1)	1:40 (1)	6:20 (1) g
Kragujevac	3:10 (1)	1:58 (1)		1:12	2:42 (1)	3:42 (1)	4:45 (1)	3:32 (1)	6:04 (1)	6:46 (1)	2:31 (1)	3:24 (1)	4:36 (1)
Kraljevo	3:47 (1)	0:25	1:25		1:25	2:51 (1)	5:59 (1)	4:46 (1)	7:18 (1) h	8:00 (1)	1:14 (1)	2:07 (1)	5:50 (1)
Kruševac	3:36 (1)	1:35	3:37 (1)	1:08		1:24 (1)	6:27 (2)	5:14 (2)	5:46 (2)	8:28 (2)	2:49 (2)	3:42 (2)	6:18 (2)
Niš	4:13	2:56 (1)	2:53 (1)	2:29 (1)	1:19 (1)		6:55 (1)	5:42 (1)	6:14 (1)	8:56 (1)	8:15 (1) i	6:42 (1) j	6:46 (1)
Novi Sad	1:24	4:59 (2)	4:54 (2)	5:26 (2)	5:20 (2)	5:57 (1)		2:45 (1)	1:17 (1)	1:57	5:18 (1)	3:45 (1)	3:49 (1)
Pančevo	0:16	3:51 (2)	3:46 (2)	4:18 (2)	4:12 (2)	4:49 (1)	2:50 (1)		2:04 (1)	4:46 (1)	4:05 (1)	2:32 (1)	0:50
Sr. Mitrovica	1:13	4:43 (2)	4:38 (2)	5:10 (2)	5:04 (2)	5:41 (1)	1:42 (1)	2:34 (1)		3:18 (1)	4:37 (1)	3:04 (1)	3:08 (1)
Subotica	3:23	6:58 (2)	6:53 (2)	7:25 (2)	7:19 (2)	7:56 (1)	1:57	4:49 (1)	3:41 (1)		7:19 (1)	5:46 (1)	5:50 (1)
Užice	3:10	0:50	2:50 (1)	1:17	2:27	3:48 (1)	4:49 (1)	3:41 (1)	4:33 (1)	6:48 (1)		1:31	5:09 (1)
Valjevo	1:38	1:40 (1)	3:40 (2)	2:07 (1)	3:17 (1)	7:16 (1) k	3:17 (1)	2:09 (1)	3:01 (1)	5:16 (1)	1:30		3:36 (1)
Vršac	1:20	4:55 (2)	4:50 (2)	5:22 (2)	5:16 (2)	5:53 (1)	3:54 (1)	0:50	3:38 (1)	5:53 (1)	4:45 (1)	3:13 (1)	
Fußnoten:	a: 3:13 über Požega (1)		d: 4:14 über Požega (2)		g: 5:18 über Požega (2)		j: 5:08 über Rakovica (3)						
	b: 3:40 über Požega (1)		e: 4:46 über Požega (2)		h: 5:13 über Požega (2)								
	c: 5:27 über Požega (2)		f: 7:28 über Požega (2)		i: 4:15 über Rakovica (3)		k: 4:40 über Rakovica (2)						

Summierend ist zu sagen, dass sich an den Reisezeiten der Direktverbindungen logischerweise nur Änderungen im einstelligen Minutenbereich ergeben. Die größten Auswirkungen hat der eingerichtete Knoten Belgrad, dank dessen die Fahrzeiten zwischen Zielen in der Vojvodina und jenen im Süden um bis zu eine Stunde im Vergleich zum ersten Konzept sinken. Zwar sind im Zweiten Taktkonzept auf einigen Relationen vermehrt Umsteigevorgänge erforderlich, diese liegt aber gewöhnlich im einstelligen Minutenbereich, womit eine Straffung der Reisezeiten einher geht. Dreimaliges Umsteigen, um schneller ans Ziel zu kommen, ist hier nicht mehr erforderlich.

Fett markiert sind die Fahrzeiten zwischen den sechs Großstädten (mehr als 100.000 Einwohner). Bis auf leichte Verlängerungen der Reisezeiten nach Kragujevac (auf Grund der Ergänzungslinie) sind in den übrigen Relationen keine Veränderungen beziehungsweise durchaus spürbare Verbesserungen im Zweiten Taktkonzept erkennbar. Unterscheiden sich die Fahrzeiten zwischen den beiden Konzepten um mehr als zehn Minuten, sind in Tabelle 9 die kürzeren Zeiten in grün, die längeren in rot markiert, wobei nach Möglichkeit mit der gleichen Anzahl an Umsteigevorgängen verglichen wird (so ist beispielsweise Beograd – Čačak nicht eingefärbt, da bereits im ersten Konzept mit einmaligem Umsteigen 3 Stunden und 13 Minuten erreicht wurden).

4.7 Bedarfsplanung und Investitionen

Um die gewünschte und notwendige Attraktivierung des Eisenbahnsystems zu erreichen, sollte der angestrebte Takt fortwährend den ganzen Tag über (d.h. im Zeitraum von etwa sechs bis 22 Uhr) angeboten werden. Zusätzlich dazu gibt es noch Nachtzüge, die ebenfalls in die Taktzeiten eingebunden werden können, wie es etwa in der Slowakei Usus ist. (46) Sämtliche Serbien berührende Nachtzüge dienen jedoch überwiegend dem internationalen Verkehr. Tabelle 10 gibt Auskunft über die geplanten Taktzeiten und diverse zusätzlich verkehrende Züge, für welche die folgende Bedarfsplanung durchgeführt wird.

Tabelle 10: Übersicht über Abfahrtszeiten und Triebfahrzeugbedarf der Züge auf den einzelnen Linien gemäß Abbildung 18 (eigenes Werk)

Linie	Abfahrten der Züge vom Ausgangsbahnhof	Triebfahrzeugbedarf
Beograd - Subotica (IC-Linie 1)	4:35, 6:35 ¹ , 8:35, 10:35, 12:35, 14:35 ¹ , 16:35, 18:35, 20:35 ² , 22:35 ¹	5 E-Loks (Reihen 441/444)
Subotica - Beograd (IC-Linie 1)	2:02 ¹ , 6:01 ² , 6:02, 8:02, 10:02 ¹ , 12:02, 14:02, 16:02, 18:02, 20:02 ¹	
Beograd - Niš (IC-Linie 2)	5:45, 7:45, 9:45 ³ , 11:45, 13:45, 15:45, 17:45, 21:45 ³	7 E-Loks (Reihen 441/444); 1 D-Lok (Reihe 661)
Niš - Beograd (IC-Linie 2)	2:02 ³ , 6:02, 8:02, 10:02, 12:02, 14:02 ³ , 16:02, 18:02	
Beograd - Užice (IC-Linie 3)	7:40, 9:40 ⁴ , 11:40, 13:40 ⁴ , 15:40, 17:40, 19:40, 21:40 ⁴ , 23:40 ⁴	11 E-Loks (Reihe 461), davon 3 der ŽCG
Užice - Beograd (IC-Linie 3)	3:10 ⁴ , 5:10 ⁴ , 7:10, 9:10, 11:10, 13:10, 15:10 ⁴ , 17:10, 19:10 ⁴	
Stalać- Užice (IC-Linie 4)	7:03, 9:03, 11:03, 13:03, 15:03, 17:03, 19:03	6 Triebwagengarnituren (Reihe 711 oder 712 Doppeltraktion)
Užice - Stalać (IC-Linie 4)	6:10, 8:10, 10:10, 12:10, 14:10, 16:10, 18:10	
Lapovo - Kraljevo (Ergänzungslinie)	8:05, 10:05, 12:05, 14:05, 16:05, 18:05	3 Triebwagengarnituren (Reihe 711 oder 712)
Kraljevo - Lapovo (Ergänzungslinie)	7:35, 9:35, 11:35, 13:35, 15:35, 17:35	
Beograd - Šid (EC-Linie) ⁵	6:30, 8:30, 10:30, 12:30, 14:30, 16:30, 22:30	4 E-Loks (Reihen 441/444)
Šid - Beograd (EC-Linie) ⁵	6:04, 12:04, 14:04, 16:04, 18:04, 20:04, 22:04	
Beograd - Vršac (EC-Linie) ⁶	6:35, 8:35, 10:35, 12:35, 14:35, 16:35, 18:35	1 E-Lok (Reihen 441/444) für Beograd – Pančevo; 2 D-Loks (Reihe 661) für die Reststrecke
Vršac - Beograd (EC-Linie) ⁶	8:05, 10:05, 12:05, 14:05, 16:05, 18:05, 20:05	

- 1) Zug verkehrt von/nach Budapest
- 2) Zug verkehrt im Abschnitt Novi Sad - Beograd - Novi Sad
- 3) Zug verkehrt nach/von Skopje mit Kurswagen nach/von Sofia
- 4) Zug verkehrt nach/von Bar
- 5) Alle Züge nach/von Zagreb oder darüber hinaus
- 6) Alle Züge nach/von Timișoara oder darüber hinaus

Geht man von der derzeitigen Situation beim Lokeinsatz mit den Nachbarbahnen aus (ŽS-Lokomotiven fahren bis zu den Grenzbahnhöfen Šid (HŽ), Subotica (MÁV), Statora Moravița (CFR), Dimitrovgrad (BDŽ) und Tabanovce (MŽ), lediglich nach Montenegro wird ohne Lokwechsel durchgeführt), ergibt sich ein Mindestbedarf von 17 Lokomotiven der Reihen 441/444, acht Stück 461 (auf der IC-Linie 3), drei 661 auf den nichtelektrifizierten Strecken sowie neun Triebwagen für die Ergänzungslinie. Dabei sind die Wendezeiten in ausreichendem Maß berücksichtigt, lediglich in Stalać stehen nur sechs Minuten zur Verfügung, weshalb die IC-Linie 4 auf jeden Fall auch mit Triebwagenzügen (vorerst dieselbetriebene, nach der Elektrifizierung elektrische) bedient werden sollte.

Gemäß vorliegenden Umlaufplänen umfasste das Einsatzprogramm der Reihe 441 im Fahrplan 2004/2005 30 Umlaufstage, in denen jedoch die Regionalverkehrsleistungen inbegriffen waren. 17 Umlaufstage dienten überwiegend dem Personenfernverkehr (6424 Tageskilometer), es würde jedoch nun die weitaus höhere tägliche Leistung von 9666 Kilometern mit derselben Zahl von 17 Maschinen erbracht werden können. Bei der Reihe 461 liegt die Steigerung bei 1068 Kilometern, wobei die Anzahl der benötigten Maschinen konstant bleibt. Die Diesellokpläne (Reihe 661) können von vier auf drei Umlaufstage gekürzt werden. Insgesamt erscheint es möglich, mittels der optimierten Einsatzplanung auch im Regionalverkehr mit den bestehenden Lokomotiven den zusätzlichen Bedarf für Fern- und Regionalverkehr abdecken zu können. (47)

Um einen reibungsfreien Betrieb zu gewährleisten, sind freilich entsprechende Reserven an Triebfahrzeugen vorzuhalten. Es erscheint zweckmäßig, je eine Elektrolok in Subotica, Niš, Užice und zwei in Beograd; je eine Diesellok in Niš und Pančevo sowie je einen Triebwagen in Lapovo und Stalać in Bereitschaft zu halten. Somit ergibt sich gemäß Tabelle 10 ein Bedarf von 21 Lokomotiven der Reihe 441/444, neun der Reihe 461, fünf Dieselloks der Reihe 661 sowie elf Triebwagenzügen zur Führung sämtlicher Fernverkehrszüge. Nach Tabelle 6 sind jedenfalls am Sektor der Elektroloks keine Probleme zu erwarten. Zahlreichere Ausfälle betreffen die Diesellokomotiven und -triebwagen, hier wäre über einen Ankauf von zusätzlichen Maschinen oder die Aufarbeitung von abgestellten Lokomotiven nachzudenken.

Anhand der oben erwähnten Zugzusammenstellungen ist ein Bedarf von etwa 150 Reisezugwagen der ŽS erforderlich. Dies entspricht fast drei Viertel der nach Tabelle 6 in Betrieb stehenden Reisezugwaggons. Um am Wagensektor für Entspannung zu sorgen und auch dem Regionalverkehr eine ausreichende Anzahl an Sitzplätzen zur Verfügung zu stellen, sollten etwa 50 Waggons aus dem hohen Schadbestand (367 Wagen) aufgearbeitet werden. (16)

Der zusätzliche Personalbedarf, vor allem für Zugbegleiter und Lokführer, sollte sich über Rationalisierungsmaßnahmen relativ einfach und ohne starke Kostensteigerungen realisieren lassen. Wie Abschätzungen aus der Schweiz gezeigt haben, ist durch die optimierte Einsatzplanung bei der Einführung des Taktfahrplanes eine Reduktion der unproduktiven Stand- und Wartezeiten zu erzielen, womit netzweit gesehen nicht wesentlich mehr Personal benötigt wird. (44)

Die Kosten für die benötigte Traktionsenergie stehen naturgemäß in Relation zur Traktionsleistung. Bei den elektrisch geführten Zugsleistungen ist jedoch durch die gleichmäßigere Verteilung über den gesamten Tag von einer Senkung des Einheitspreises für den Strombedarf auszugehen, womit sich die Kosten nicht überproportional vermehren. (44) Dies gilt jedoch nur in geringem Maße für den Dieselbedarf, weshalb eine Elektrifizierung der noch ausstehenden Strecken sofortigen Nutzen bringen würde.

In Tabelle 11 sind die für die Einführung des Taktfahrplans notwendigen Maßnahmen noch einmal zusammengefasst. Als Investitionskosten sind vor allem die baulichen Maßnahmen zu nennen, wobei in die beiden großen Bauprojekte (Bahnhof Beograd Centar sowie Bahnstrecke Kraljevo – Stalać) ohnedies seit Jahren investiert wird. Hier wäre ein baldiger Abschluss der Bauarbeiten im allgemeinen Interesse der Bevölkerung. Der Ausbau des zweiten Streckengleises auf der Linie nach Kroatien sollte abgeschlossen werden, um die Fahrzeit nicht verlängern zu müssen. (11), (39), (40)

Die Beschaffungen bzw. Aufarbeitungen von Rollmaterial dienen vor allem der Betriebsqualität und sind somit nicht zwingend zur Einführung des Taktfahrplanes notwendig. (35) Ohne sie kommt es aber über kurz oder lang zu Zugausfällen oder größeren Verspätungen. Dies würde das Vertrauen der Bevölkerung in das neue Fahrplansystem schnell wieder zerstören, wie auch Beispiele aus Österreich gezeigt haben. (37)

Ein wichtiger Punkt für die Gewährleistung einer hohen Betriebsqualität ist die bedingungslose Verfügbarkeit von funktionierenden Sicherungsanlagen. Insbesondere auf der Strecke Beograd – Lapovo sind derzeit häufig Zwischenhalte durch Rot zeigende Signale erforderlich, was zu Verspätungen führt. Hier sollten die Sicherungsanlagen auf einen neueren Stand gebracht werden

und es wäre im Falle von nicht möglicher Finanzierbarkeit dieser Maßnahmen auch auf einzelne Streckenblocks zu verzichten.

Die anstehenden Elektrifizierungen sollen einerseits die Verfügbarkeit am Sektor der Dieselfahrzeuge entspannen, andererseits auch die hohen variablen Kosten für den Treibstoff reduzieren. Da sie aber für die Einführung des Fahrplankonzepts nicht von Belang sind, werden sie in Tabelle 11 mit lediglich niedrigerer Priorität klassifiziert. (16)

Tabelle 11: Notwendige und sinnvolle Investitionen zur Einführung eines ITF gemäß Zweitem Taktkonzept, eigene Überlegungen nach (11), (24), (26) und (45)

Vorhaben / Ort	Beschreibung	Voraus. für ITF	Priorität
Beograd Centar	Fertigstellung der Verkehrsstation (10 Bahnsteiggleise)	ja	hoch
Kraljevo - Stalać	Erneuerung der Strecke auf die projektierte Geschwindigkeit von 60 km/h	ja	hoch
Mali Iđoš	Errichtung eines zweiten Streckengleises (ca. 2 km) südlich anschließend an den bestehenden Bahnhof Mali Iđoš Polje	ja	hoch
Netzweit, v.a. Rakovica - Lapovo	Ertüchtigung von fehlerhaften bzw. ausgefallenen Sicherungsanlagen, um durch diese erzwungene Aufenthalte an der Strecke zu reduzieren bzw. zu vermeiden	ja	mittel
Triebwagen Reihe 711	Beschaffung weiterer Triebwagengarnituren u.a. für die Ergänzungslinie	ja	mittel
Stara Pazova - Šid	Erneuerung des rechten Streckengleises um zweigleisig 120 km/h fahren zu können	nein	mittel
Dieselloks Reihe 661	Aufarbeitung von 3-4 Maschinen, um genügend Reserven zur Verfügung zu stellen	nein	mittel
Kraljevo - Stalać	Elektrifizierung der Bahnstrecke	nein	mittel
Niš - Dimitrovgrad	Elektrifizierung der Bahnstrecke	nein	mittel
Personenwagen	Aufarbeitung von ca. 50 Waggonen, um ausreichend Material zur Verfügung zu haben	nein	mittel
Pančevo - Vršac	Elektrifizierung der Bahnstrecke	nein	niedrig

Sämtliche weitere, immer wieder genannten Investitionen (v.a. nach dem EU-Masterplan (27)) würden zwar hohe Kosten verursachen, aber nicht zur unmittelbaren Verbesserung des Gesamtsystems führen, sondern nur punktuelle Unzulänglichkeiten beseitigen. Eine netzweite Verbesserung und Attraktivierung der Eisenbahn ist nur mit einem integralen Konzept zu erreichen, welches die Bedürfnisse der Bevölkerung nach raschem und bequemen Reisen berücksichtigt. (48)

5 Bahnbetriebliche Simulationsstudie und Anpassung des Taktkonzepts

5.1 Grundlagen der Betriebssimulation

Während in Kapitel 4 mittels überschlagsmäßiger, händischer Fahrzeitenrechnung ein Taktfahrplankonzept für das serbische Schienennetz erstellt wurde, sollen an dieser Stelle die Grundlagen und Vorteile einer EDV-gestützten Eisenbahn-Betriebssimulation erläutert werden. Dazu ist es zunächst notwendig zu erklären, was darunter zu verstehen ist.

Die *Brockhaus-Enzyklopädie* definiert eine Simulation als die *Darstellung oder Nachbildung physikalischer, technischer, biologischer, psychologischer oder ökonomischer Prozesse durch mathematische oder physikalische Modelle, die eine wirklichkeitsnahe, jedoch einfachere, billigere oder ungefährlichere Untersuchung als das Original erlauben.* (49)

Eine Eisenbahn-Betriebssimulation ist somit eine möglicherweise vereinfachte Nachbildung von Eisenbahnstrecken und Fahrbetriebsmitteln zur Untersuchung des darauf vorgesehenen Eisenbahnbetriebes mittels mathematischer oder physikalischer Modelle. Dies kann durch herkömmliche Methoden (händische Berechnung), Originalnachbildung (Modelleisenbahn) oder mittels einer dafür geeigneten Software erfolgen.

Bei dieser EDV-gestützten Eisenbahn-Betriebssimulation erfolgt die Nachbildung der technischen Prozesse mittels einer Computersoftware. Nach der Eingabe zahlreicher Eingangsdaten ist die Software in der Lage, das Betriebsprogramm selbständig ablaufen zu lassen und währenddessen bzw. im Anschluss daran Auskunft über die simulierten Geschehnisse zu geben. Mit den so gewonnenen Informationen kann dann die Betriebssimulation iterativ verbessert bzw. eine reale Planung begonnen werden.

Als Eingangsdaten sind für eine Betriebssimulation also Informationen über die zu betrachtenden Eisenbahnstrecken, die an ihnen liegenden Bahnhöfe und Haltestellen, die dort eingesetzten Fahrbetriebsmittel (Lokomotiven, Waggons bzw. Triebwagen), sowie das gewünschte Betriebsprogramm (Fahrplan) von Nöten. Je detaillierter diese Informationen vorliegen, umso realitätsnaher, jedoch auch aufwändiger, wird die Betriebssimulation.

Das Computerprogramm wendet nun die physikalischen Zusammenhänge der Fahrdynamik an, um mittels der vorgegebenen Eingangsgrößen als Output grafische Fahrpläne, Gleisbelegungspläne, Verspätungsstatistiken und ähnliche, für die Einsatzplanung wichtige Informationen, zu bekommen. Diese wichtigen fahrdynamischen Eigenschaften werden im folgenden Kapitel 5.2 ausführlich erläutert.

Am Markt sind diverse Betriebssimulationsprogramme erhältlich, die auch von verschiedenen Eisenbahnverkehrsunternehmen zur Fahrplankonzeption eingesetzt werden. Hier wird in weiterer Folge die Schweizer Software OpenTrack erläutert, ein vergleichsweise einfach aufgebautes Programm, welches dennoch zu realitätsnahen Ergebnissen führt, weshalb es bei zahlreichen Eisenbahnverkehrsunternehmen in ganz Europa im Einsatz steht. (50)

5.2 Fahrdynamische Zusammenhänge

Die Fahrdynamik als Teilgebiet der Mechanik beschäftigt sich mit den Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten der Bewegung von Körpern in Abhängigkeit von deren Beschaffenheit bezüglich Beschleunigung und Verzögerung sowie der Beschaffenheit der Fahrbahn. Übertragen auf das Eisenbahnsystem sind es also die Zusammenhänge zwischen den Antriebs- und Bremseigenschaften der Fahrbetriebsmittel sowie der Beschaffenheit der Eisenbahnstrecken in Bezug auf Trassierung und Schienenzustand. (51)

Das Rad-Schiene-System mit Rollreibung von Stahl auf Stahl ist durch im Vergleich zur Straße sehr geringe Reibungswiderstände (etwa ein Zehntel) sowie entsprechend lange Bremswege gekennzeichnet. Bei idealem (reinem) Rollen wäre keine Kraftübertragung auf die Schiene möglich, da diese durch den sogenannten Längsschlupf, d.h. einer Differenz zwischen dem theoretisch zurückgelegten Weg (Winkelgeschwindigkeit) und dem wirklich zurückgelegten (Geschwindigkeit der Achse), relativ zum mittleren zurückgelegten Weg, ermöglicht wird. (52), (53)

Der Haftreibungsbeiwert f entspricht dem Verhältnis der durch den Rad-Schiene-Kontakt übertragbaren Horizontalkraft zur auf den Achsen ruhenden Last: $f = H/Q$. Curtius und Kniffler entwickelten den Zusammenhang $f = \frac{7,5}{V+44} + 0,161$ zur Bestimmung des Haftreibungsbeiwerts in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, wobei V eben diese in Kilometern pro Stunde ist. Der Haftreibungsbeiwert bei trockenen Schienen liegt bei etwa 0,28, bei nassen Schienen um 0,16 und kann im Falle von Laub oder ähnlichem auf den Schienen auf 0,03 zurückgehen, was das Anfahren deutlich erschwert. (54)

Wichtig ist der Haftreibungsbeiwert zur Berechnung der Zugkräfte, insbesondere für die Reibungszugkraft $Z_R = Q_R \cdot f$ mit Q_R als Reibungsgewicht. Diese ist maßgeblich für das Anfahren eines Zuges. Die Leistungszugkraft $Z_L = N / V$ mit N als Triebfahrzeugleistung hingegen beschreibt eine dauerhafte konstante Geschwindigkeit (siehe dazu auch unten). Im sogenannten Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm (Z-V-Diagramm, siehe Abbildung 21) sind die Grenzlinien der Zugkraft für einen bestimmten Triebfahrzeugtyp in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit angegeben. (54)

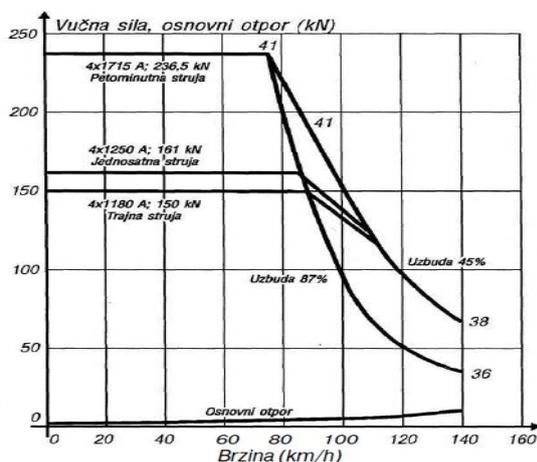


Abbildung 21: Z-V-Diagramm der elektrischen Lokomotive 1141.2 der HŽ (55)

Vom Anfahren bis etwa 75 km/h ist die Reibungszugkraft maßgeblich (horizontale Linie, darüber würden die Räder durchdrehen), ab diesem Punkt beginnt der parabelförmige Abfall der Leistungszugkraft bis zur Höchstgeschwindigkeit bei 140 km/h. Die drei unterschiedlichen Kurven geben die fünfminütige Höchstleistung, die Stundenleistung sowie die Dauerleistung der mit der Reihe 441.7 der ŽS baugleichen Lokomotive an. (55)

Beim Bremsvorgang sind gewöhnlich betragsmäßig größere Beschleunigungen als beim Anfahren möglich, da im Normalfall alle Achsen eines Zuges gebremst, jedoch nur jene der Lokomotive angetrieben sind. Wie das Antriebs- ist auch das Bremsvermögen in entscheidender Weise von den

Haftreibungsverhältnissen abhängig und somit bei nasser Schienenoberkante vermindert. Moderne Reisezugwagen verfügen über elektropneumatische Bremsen, die eine Weiterentwicklung der herkömmlichen pneumatischen Bremsen darstellen. Während dem bei Reisezügen die üblichen Beschleunigungen 0,2 bis 0,5 m/s² betragen, kann die Bremsverzögerung mit 0,6 bis 0,8 m/s² angenommen werden. (51)

Während der Fahrt eines Zuges treten verschiedene Widerstände auf, deren Summe im Gleichgewicht mit der nutzbaren Zugkraft steht. Diesen Zusammenhang nennt man Zugkraftgleichung. Als Widerstände sind zu bezeichnen (54):

- Grundwiderstand w' als Summe von Lager-, Getriebe- und Rollwiderstand. Er beträgt bei älteren Reisezugwagen etwa 2,5 ‰.
- Luftwiderstand w_v als dem Zug bei Bewegung entgegenwirkende Oberflächenkraft. Er beträgt für einen lokbespannten Schnellzug bei 100 km/h etwa 3,5 ‰.
- Steigungswiderstand w_s als Neigung der Strecke in Promille. Der Großteil der Strecken in Serbien hat weniger als 10 ‰ Steigung. Bei Talfahrten ist dieser Widerstand negativ.
- Krümmungswiderstand w_b für enge Bögen. Er beträgt bei einem Bogenradius von 300 Metern etwa 2,5 ‰.
- Beschleunigungswiderstand w_p als Trägheitswiderstand einer Zugkraftdifferenz, wenn sich die Zugkraft oder die Widerstände ändern. Er stellt das gestörte Kräftegleichgewicht wieder her. Überschlagsmäßig kann man $w_p = a \cdot 110$ mit a als Beschleunigung annehmen.
- Bremswiderstand w_{br} , das in Promille ausgedrückte Produkt aus Bremsausmaß (Bremsleistung) und Haftreibungsbeiwert. Das Bremsausmaß ist ein Rechenwert für die Bremsfähigkeit eines Zuges und beträgt heutzutage meist mehr als die suggerierten 100 ‰.

Die Zugkraftgleichung kann nun sowohl für den Fall des Anfahrens (Reibungszugkraft Z_R) als jenen der konstanten Fahrtgeschwindigkeit (Leistungszugkraft Z_N) formuliert werden, wobei es verständlich ist, dass nicht in beiden Formulierungen alle Widerstände aufscheinen. Q_{ges} bedeutet das Gesamtgewicht des Zuges.

$$Z_R = Q_R \cdot f \geq Q_{ges} \cdot (w' \pm w_s + w_k + w_p) \text{ sowie } Z_N = N / V \geq Q_{ges} \cdot (w' \pm w_s + w_k + w_v)$$

Durch Eintragen der einzelnen Widerstände im Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm (Abbildung 21) ist es möglich, die Grenzzugkraft für eine bestimmte Geschwindigkeit zu ermitteln.

Aus der Energiebetrachtung (die kinetische Energie muss der Arbeit der Widerstandskräfte entsprechen) folgt der Zusammenhang für den Bremsvorgang mit $E = \frac{m \cdot v^2}{2} = Q \cdot \sum w \cdot l_{br}$ und weiter umgeformt und gerundet die Bremsweglänge $l_{br} = \frac{v^2 \cdot 1,1}{20 \cdot \sum w}$. Diese ist entscheidend vom Bremswiderstand w_{br} abhängig (siehe oben), der auch 200 ‰ betragen kann. Es muss jedoch zwischen einer Notbremsung und der Betriebsbremsung unterschieden werden, bei letzterer sind die Bremswege deutlich länger und im Gegenzug die Bremsverzögerung unter 1 m/s². (41)

Zuletzt soll noch kurz auf die Ermittlung der benötigten Zugförderungsenergie eingegangen werden. Die zu leistende Arbeit ergibt sich als das Produkt von Kraft und Weg, d.h. $A = Q_{ges} \cdot \sum_i (l_i \cdot \sum w_i)$. Die sogenannte Widerstandshöhe $H_w = \sum_i (l_i \cdot \sum w_i)$ sollte im Sinne energieeffizienten Eisenbahnbetriebes minimal werden, vor allem auf Strecken im Mischbetrieb mit stark unterschiedlichen Geschwindigkeiten spielen diese Überlegungen für die Trassierung eine große Rolle, um die Leistungsfähigkeit hoch zu halten. (54)

5.3 Die Simulationssoftware OpenTrack

OpenTrack ist ein am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich realisiertes Forschungsprojekt zum Thema interaktive Betriebsimulation von Eisenbahnnetzen. Ziel dieses Projekts war die Entwicklung eines leistungsfähigen und benutzerfreundlichen (sic!) Simulationsprogrammes für verschiedenste Rechnerplattformen, mit welchem sich komplexe Fragestellungen aus dem Bereich des Eisenbahnwesens lösen lassen, schreibt Daniel Hürlimann, der Entwickler dieser Software und Geschäftsführer der Firma OpenTrack Railway Technology GmbH auf seiner Homepage. (56)

Tatsächlich ist OpenTrack ein relativ einfach anzuwendendes Werkzeug, mit dem sich die üblichen Fragestellungen der Eisenbahnbetriebsplanung anschaulich lösen lassen. Mögliche derartige Fragestellungen sind beispielsweise Fahrzeitenberechnung, Fahrplankonstruktion, Infrastrukturauslastung und –bedarf, Analyse der verschiedenen Sicherungssysteme, Störungsanfälligkeit und –verhalten sowie Energie- und Leistungsbetrachtungen. Das Programm ist in der Lage, neben Vollbahnen auch städtische Bahnsysteme (U-Bahnen, Straßenbahnen, kombinierte Systeme) und Magnetschwebbahnen abzubilden. (56)

Die grundsätzliche Funktionsweise des Programmes mit Eingangsdaten, Ausgangsdaten und den damit verbundenen Prozessen wird in Abbildung 22 gezeigt. Die jeweils benötigten Eingangsdaten, die Simulationsprozesse und der mögliche Output werden in Folge beschrieben.

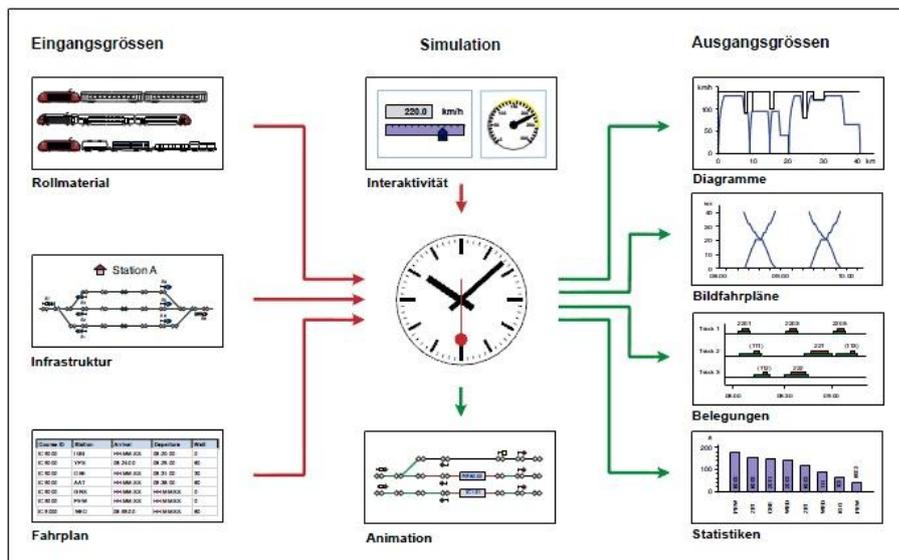


Abbildung 22: Grundlegende Funktionsweise von OpenTrack (57)

Unter Rollmaterial sind alle Lokomotiven, Triebwagen und Waggons zu verstehen, die am nachgebildeten Netz verkehren sollen. Zu jedem Triebfahrzeugtyp sind technische Daten wie das Z-V-Diagramm, die Reibungs- und Gesamtmasse, physische Länge und Adhäsionswerte einzugeben. Entsprechend sind auch für Waggons Länge, Masse und Höchstgeschwindigkeit anzugeben. In Folge werden dann Triebfahrzeuge und Waggons zu Zügen kombiniert, denen ebenfalls Eigenschaften wie Beschleunigungs- und Bremsverzögerungswerte zugeordnet werden und die dann in einer Datenbank gespeichert werden. (57)

Die Schieneninfrastruktur (in OpenTrack als Gleistopologie bezeichnet) wird durch so genannte Doppelpunktgraphen erfasst, zwischen denen sich Kanten befinden. Ein Doppelpunktgraph ist immer ortsfest und hat keine „Länge“, während dem die Kanten einen bestimmten Gleisabschnitt mit Eigenschaften wie Länge, Steigung, zulässige Höchstgeschwindigkeit und Tunnel bzw. freie Strecke abbilden. Ein Doppelpunktgraph besteht aus zwei Punkten und hat die Eigenschaft, dass jeder der beiden Punkte die Information der daran anschließenden Kante trägt. Dies bietet den Vorteil, dass z.B. bei Weichen der Fahrweg klar vorgegeben ist und auch Signale nur für eine Fahrtrichtung

Geltung beanspruchen können. Doppelpunktgraphen werden gesetzt, wo sich mindestens eine der Eigenschaften (Steigung, Bogenradius etc.) der Strecke ändert bzw. sich Einrichtungen wie Signale, Bahnhöfe oder Weichen befinden. Einen derartigen Ausschnitt mit Kanten, Doppelpunktgraphen, einer Weiche, einem Bahnhof und Signalen zeigt Abbildung 23.

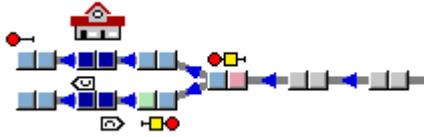


Abbildung 23: Elemente der OpenTrack-Gleislogik

Von einem Signal zum (oder zu den) nächsten können nun Fahrstraßen generiert werden und deren Abfolge wird als Fahrweg gespeichert. Dabei ist es auch möglich, einem Zug mehr als einen Fahrweg zuzuordnen und diese mit Prioritäten zu gewichten (z.B. Ausweichen auf ein Nebengleis falls ein höherrangiger Zug Vorfahrt beansprucht).

Nun ist es noch notwendig, die einzelnen Züge zu fixieren und ihnen einen Fahrplan zuzuordnen, wobei zumindest die Abfahrtszeit im Ausgangsbahnhof festgelegt werden muss. Den Zügen werden über die Fahrzeugdatenbank Triebfahrzeuge und Waggons zugeordnet und die bereits erwähnten Fahrwege festgelegt. Es ist auch möglich (z.B. für energiesparendes Fahren) dem Triebfahrzeug für einen bestimmten Zug nicht die Maximalleistung zuzuordnen. (57)

Nach Eingabe all dieser Daten kann der erste Simulationslauf gestartet werden. Dazu ist ein Zeitintervall festzulegen und eine Anzahl an Zügen auszuwählen, die simuliert werden soll. Es ist auch möglich, Paramater wie Wetterbedingungen und Verspätungsszenarien einzugeben. Daraufhin wird das Verhalten der Prozesse von allen auf dem Gleisnetz verkehrenden Kursen (= Zügen, Anm.) unter den Randbedingungen der Fahrplaneinträge, der Ressourcen der Infrastruktur und den physikalischen Limitierungen der Kompositionen (...) berechnet, wie Hürlimann in seinem Handbuch schreibt. (57)

Bereits während dem Simulationslauf ist es möglich, interaktiv in das Geschehen einzugreifen bzw. animierte Zwischenergebnisse zu erhalten. So können etwa Fahrstraßen bzw. Signale manuell gesperrt werden, um einen Kreuzungsaufenthalt eines Zuges zu erzwingen und in Echtzeit Verspätungen oder aktuell gefahrene Geschwindigkeiten der Züge eingesehen werden.

OpenTrack ist eine gemischte Simulationssoftware, da sowohl kontinuierliche Vorgänge (Bewegung der Züge) als auch diskrete (Umschalten eines Signales) erfasst werden. Die Zugsfahrten werden durch Bewegungsdifferentialgleichungen erfasst, welche jedoch nicht analytisch lösbar sind. Mit der in der Folge beschriebenen numerischen Methode von Euler werden jedoch hinreichend genaue numerische Ergebnisse ermittelt. (57)

Um einen Zug beschleunigen zu können, muss ein Zugkraftüberschuss vorliegen, d.h. die vom Triebfahrzeug auf die Schiene gebrachte Zugkraft muss größer als die Summe der Widerstände des Zuges sein: $\Delta Z = Z - \sum w$. Kann der gesamte Zugkraftüberschuss als Beschleunigungswiderstand w_p umgesetzt werden, folgt aus der Newton'schen Grundgleichung der Dynamik $F = m \cdot a$ in Verbindung mit obiger Formel für den Zugkraftüberschuss $a = \frac{\Delta Z}{m \cdot (1+0,01 \cdot \beta)}$ mit β als Faktor für die rotierenden Massen (ca. 1,1). (51) Mit dem Verfahren nach Euler ist es nun möglich, von einem fixen Startwert ausgehend jeden beliebigen Funktionswert durch den jeweils (mit einem festen Zeitschritt) vorausgehenden und dessen zeitliche Ableitung zu bestimmen. (57)

Hürlimann zufolge berechnet sich etwa die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t_2 = t_1 + \Delta t$ nach dieser Methode mit $v(t_2) = v(t_1) + \Delta t \cdot \frac{dv}{dt}(t_1)$. Allgemein werden für die Geschwindigkeit und den zurückgelegten Weg folgende Integrationsbeziehungen der Bewegungsgleichung formuliert, die mit den passenden Anfangsbedingungen numerisch gelöst werden können (57):

$$v = v_0 + \int_{t_1}^{t_2} a dt \quad \text{bzw.} \quad a = \frac{dv}{dt} \quad \text{sowie} \quad s = s_0 + \int_{t_1}^{t_2} v dt \quad \text{bzw.} \quad v = \frac{ds}{dt}$$

Das Bremsverhalten eines Zuges ist ebenfalls ein sehr komplexer Prozess zu dessen wirklichkeitsgetreuer Abbildung sämtliche Bremseigenschaften der Lokomotive und der Waggons bekannt sein müssten sowie auch das Verhalten des Lokführers eine Rolle spielt. In OpenTrack wird der Bremsvorgang daher etwas vereinfacht und mit einer vorgegebenen (bei Bedarf je nach Geschwindigkeit variablen) Bremsverzögerung zielgerichtet vom Halt zeigenden Signal oder dem Haltepunkt am Bahnsteig rückwärts berechnet. Sobald der Punkt überfahren wird, an dem eine Bremsung notwendig ist, wird diese eingeleitet. Sollte etwa ein zunächst geschlossenes Signal während des Bremsvorgangs einen weiteren Fahrweg freigeben, wird der Bremsvorgang abgebrochen und der Zug beschleunigt wieder. (57)

Für das Verhalten der Züge an Stationen beinhaltet OpenTrack ein Flussdiagramm, welches alle möglichen Szenarien abbildet und so eine Entscheidung trifft, ob der betreffende Zug weiterfahren darf. An Bahnhöfen muss etwa die Abfahrtszeit erreicht, die minimale Haltezeit abgelaufen sowie eine allfällige Anschlussabwartebedingung erfüllt sein. Erst dann kann der Zug seine Fahrt fortsetzen (Abbildung 24).

Ähnlich verhält es sich bei Sicherungseinrichtungen, die ein kollisionsfreies Fahren garantieren, da jede Fahrstraße zu einer bestimmten Zeit nur durch einen Zug besetzt sein darf, der innerhalb dieser zum Stillstand kommen muss. Ein Signal kann also nur eine Fahrerlaubnis anzeigen, wenn alle zur folgenden Fahrstraße gehörenden Sicherungselemente sowie der Durchrutschweg am Ende der Fahrstraße frei sind. Das dazugehörige Flussdiagramm zeigt Abbildung 25. (57)

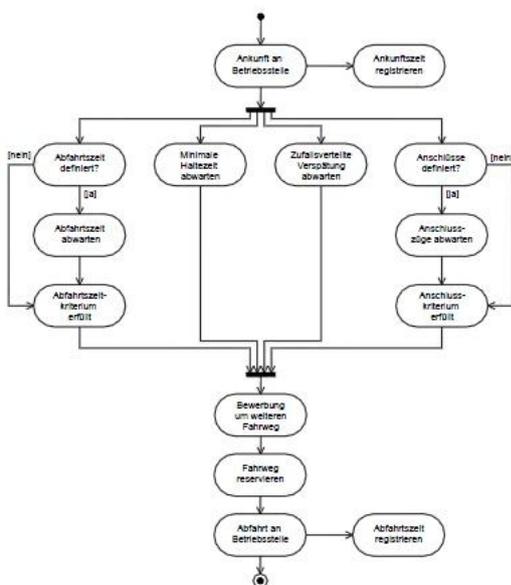


Abbildung 24: Flussdiagramm für das Verhalten bei der Abfahrt an einer Station (57)

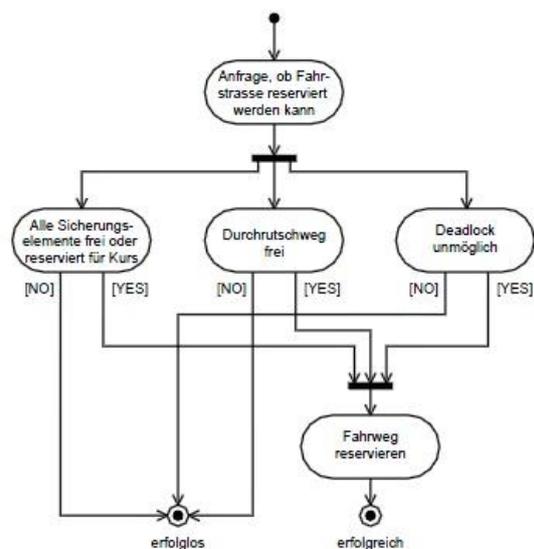


Abbildung 25: Flussdiagramm für das Verhalten bei einem Hauptsignal (57)

Nach der Beschreibung der Vorgänge während der Simulation werden nun die verfügbaren Auswertungen des Simulationsprozesses erläutert. Nach Abbildung 22 können diese in Bildfahrpläne, Diagramme, Belegungspläne und diverse Statistiken unterteilt werden, aus denen umfangreiche Ergebnisse abzulesen sind. Mit diesen kann in weiteren Schritten eine Verbesserung und erneute Simulation des Betriebsablaufes erfolgen.

Die Bildfahrpläne geben eine Übersicht über die geplanten und tatsächlichen Fahrzeiten der Züge in einem definierten Streckenabschnitt, wodurch eingesehen werden kann, in welchen Bereichen noch Reserven vorhanden sind bzw. wo es Konflikte geben könnte. Neben Bildfahrplänen ist auch eine Auswertung als Tabellenfahrplan sowohl für alle Züge als auch für einzelne oder für eine bestimmte Station möglich.

Unter Diagrammen sind in OpenTrack etwa Geschwindigkeits-Strecken-Diagramme zu verstehen, bei denen für jeden Zug abgelesen werden kann, in welchen Abschnitten beschleunigt und gebremst wird und welche Geschwindigkeit der Zug an einer bestimmten Stelle aufweist. Weiters können auch Bremskurven, Zugkräfte, Triebfahrzeugsleistungen und weitere Kennwerte in Abhängigkeit von zurückgelegtem Weg oder zurückgelegter Zeit dargestellt werden. Die Auswertung von Steigungs-, Höhen- und Bogenverlauf ist ebenfalls möglich.

Eine weitere Form der Auswertung sind Sperrzeitentreppen für Gleisabschnitte, aus denen erkennbar ist, wie lange der jeweilige Abschnitt durch einen Zug blockiert ist. Daraus lässt sich erkennen, ob die Kapazität etwa durch Einschleusen eines zusätzlichen Zuges zwischen zwei bestehende noch vergrößert werden kann. Auch die Belegungen einzelner Kanten (z.B. Bahnsteiggleise) können erfasst und angezeigt werden.

Unter den Statistiken sind etwa jene über Verspätungen zu erwähnen. Dabei gibt es vielfältige Kategorisierungsmöglichkeiten, z.B. nach Zug, Bahnhof, Abgangs- und Ankunftsverspätung oder Kombinationen von diesen. Es sind auch Fahrplanstatistiken über einen oder mehrere Simulationsläufe verfügbar. Illustrierte Beispiele zu den genannten Auswertungen finden sich im folgenden Kapitel 5.4 zur Simulation des Zweiten Taktkonzepts mit OpenTrack sowie detaillierter im Anhang (Abbildungen 31 bis 38).

5.4 Simulation des Zweiten Taktkonzepts mit OpenTrack

Um die im Kapitel 4 beschriebenen Fahrplanideen zu konkretisieren, erschien eine OpenTrack-Simulation des dort vorgestellten Zweiten Taktkonzeptes als nützlich. Dabei war es möglich, die angestrebten Fahrzeiten und Anschlussbeziehungen exakter zu bestimmen als mittels händischer Überschlagsrechnung und durch die bereits erwähnten detaillierten Auswertungen eine genauere Planung vorzunehmen, die in weiterer Folge beschrieben wird.

Um den Aufwand in vertretbarem Rahmen zu halten, wurden jedoch einige Vereinfachungen zur realen Streckentopologie sowie dem rollenden Material vorgenommen, welche hier in der Folge erläutert werden. Dabei ist es wichtig festzuhalten, dass stets auf die sichere Seite reduziert wurde, womit ein allfälliger positiver Befund über das geplante Betriebsprogramm jedenfalls auf die Realität übertragen werden kann.

Das in Abbildung 18 gezeigte Schienennetz wurde ohne die Regionalstrecken sowie ohne die fakultativen Erweiterungen der IC-Linien 2 und 3 topologisch nachgebildet. Es sind lediglich die Bahnhöfe und Haltestellen mit verkehrlicher und/oder betrieblicher Funktion für die Züge der fünf IC- und zwei EC-Linien enthalten, d.h. Halte- und Kreuzungsbahnhöfe. Die Verkehrsstationen wurden mit der zur Aufrechterhaltung des simulierten Betriebes minimalen Infrastruktur (Gleise, Bahnsteige, Sicherungsanlagen) ausgestattet, so verfügen etwa im Modell nicht alle Bahnhofsgleise über Ausfahrtsignale.

Auch bei der Streckeninfrastruktur wurden lediglich die minimalen Anforderungen wie die Abbildung der ein- und zweigleisigen Abschnitte umgesetzt, auf den in der Praxis angewendeten Gleiswechselbetrieb wurde etwa verzichtet. Die Signalisierung wurde ebenfalls stark reduziert, eine direkte Simulation der maximalen Streckenkapazität zufolge der verfügbaren Sicherungseinrichtungen wäre nicht möglich und war zu keiner Zeit Gegenstand dieser Untersuchung. Eine dichtere Abfolge von Blocksignalen wurde lediglich im Abschnitt Stara Pazova – Beograd – Rakovica vorgesehen, da hier nach Abbildung 18 Zugfolgezeiten von fünf Minuten einzuhalten sind.

Bei der Nachbildung der Gleistopologie in OpenTrack wurden sämtliche Elementlängen samt der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten nach (13) und (42) eingegeben, auf die Angabe möglicher Bogenradien, Steigungen sowie Tunnelabschnitte musste mangels geeigneter Unterlagen verzichtet werden. Bei nicht eindeutig vorliegenden Informationen wurden je nach örtlicher Situation Durchschnittswerte bzw. die jeweils nachteiligeren Angaben übernommen. Dies erscheint deshalb unproblematisch, da die fehlenden Werte bedingt durch die überwiegend auf bauliche Umstände zurückzuführenden, niedrigen örtlich zulässigen Geschwindigkeiten für die Fahrzeitenberechnung kaum ins Gewicht fallen.

Ein Ausschnitt der nachgebildeten Gleistopologie ist in Abbildung 26 zu sehen, eine Abbildung des gesamten Netzes findet sich im Anhang (Abbildung 30). Am Ausschnitt ist die Strecke Novi Beograd – Stara Pazova – Novi Sad zu sehen, wobei in Stara Pazova die Strecke zur kroatischen Grenze abzweigt (vgl. Abbildung 18). Signale zeigen (wie auf Plänen üblich) jeweils in jene Richtung, für welche sie gelten und sind dem ihnen am nächsten befindlichen Doppelpunktgrafen zugeordnet. Sämtliche Stationen sind durch das Stationsgebäude-Icon sowie den als Stationsquerschnitt dienenden, dunkelblau eingefärbten Doppelpunktgrafen erkennbar. Handelt es sich um größere Bahnhöfe, sind alle im Stationsbereich liegenden Doppelpunktgrafen zusätzlich hellblau eingefärbt. Die mit einem C gekennzeichneten Icons in den Stationen geben den Haltepunkt der Zugmitte für die jeweilige Pfeilrichtung an. Die Abstände zwischen den Doppelpunktgrafen sind der Übersichtlichkeit halber nicht maßstabsgetreu gewählt, sondern einerseits für den Bahnhofsbereich sowie andererseits für die freie Strecke jeweils praktisch konstant gehalten. Die Position der Icons wurde nach Kriterien der Übersichtlichkeit gewählt, so dass sie in einigen Fällen leicht verschoben bzw. auf der gegenüberliegenden Seite des Gleises platziert sind. Schneiden sich zwei Kanten, ist dies als kreuzungsfreie Ausbindung zu verstehen.

Für die Lokomotivdatenbank (Z-V-Diagramm, technische Daten) wurde für die Baureihen 441.7, 444, 461 und 661 auf bereits vorhandene OpenTrack-Depot-Dateien (58) der Serbischen Eisenbahnen zurückgegriffen, lediglich für die Baureihe 712 (baugleich mit der HŽ-Reihe 7121) mussten die Zugkraftdaten anhand von (55) eingegeben werden. Die charakteristischen Reibungswerte, die Faktoren für rotierende Massen sowie die Lokomotivwiderstände (Formel von *Strahl*) wurden nach den empfohlenen Voreinstellungen für OpenTrack angenommen. (57)

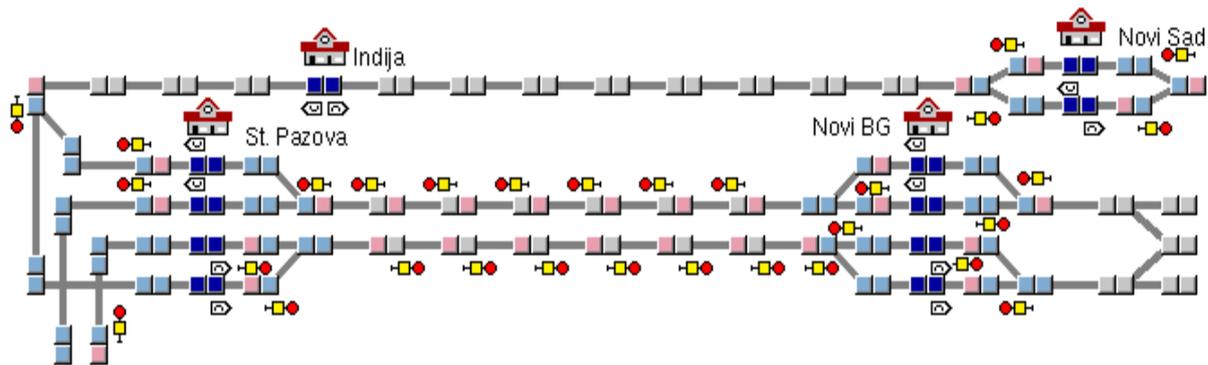


Abbildung 26: Ausschnitt aus der OpenTrack-Gleistopologie des beschriebenen Netzes

Zur Modellierung der Züge wurden entsprechend der Aufzählung im Kapitel 4.5 insgesamt vier verschiedene Zugsbildungen erstellt, welche als jeweilige Maximalzuglängen gemäß den vorne erwähnten Angaben zu verstehen sind. Dies sind für die IC-Linie 1 und die EC-Linie nach Kroatien eine 441.7 als Zuglok und sechs RIC-Fernverkehrswaggons. Die EC-Linie nach Rumänien wird mit einer Lok der Reihe 661 und fünf Waggons bedient, der erforderliche Lokwechsel in Pančevo wurde nur zeitlich berücksichtigt. Auf den IC-Linien 2 und 3 verkehrt jeweils eine Lok der Baureihe 461 mit neun Personenwagen und auf der IC-Linie 4 bzw. der Ergänzungslinie die Dieseltriebwagen der Reihe 712 in Doppel- bzw. einfacher Traktion. Da einzelne Züge Richtung Montenegro bzw. die in Niš zu trennenden Züge Richtung Bulgarien und Mazedonien neun Wagen aufweisen können, wurde diese Zuglänge der Berechnung zugrunde gelegt. Der Grund für den Einsatz von Triebwagen bei zwei Linien liegt in der Notwendigkeit, in Lapovo, Stalać und Požega rasch wenden zu können. Die in der Praxis zum Teil kürzeren Zuglängen bzw. die Führung mit stärker motorisierten Triebfahrzeugen führt somit nur zu größeren Fahrzeitreserven.

Vor der netzweiten Gesamtsimulation wurden zuerst die Fahrzeiten zwischen sämtlichen Stationen unabhängig voneinander unter Einsatz von OpenTrack ermittelt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 12 ersichtlich. Beim Vergleich mit Tabelle 8 ist erkennbar, dass die Unterschiede der Nettofahrzeiten im Vergleich zur Handrechnung im Durchschnitt sehr gering sind, lediglich auf den Strecken ausgehend von Beograd Centar wurden mit der Handrechnung zu optimistische Ergebnisse erzielt. Dies lässt sich hauptsächlich auf die bei der Handrechnung fehlende Berücksichtigung der Geschwindigkeitsbeschränkungen im Falle von in der Ablenkung befahrenen Weichen erklären, ein Effekt, der auf Kurzstrecken natürlich besonders stark in Erscheinung tritt und dem bei der Simulation Rechnung getragen wurde.

Für die reinen Fahrzeiten sind in Tabelle 12 beide Fahrrichtungen enthalten, da diese sich durch die unterschiedliche Weichenkonfiguration auf manchen Abschnitten leicht unterscheiden. Für die Bestimmung der Bruttofahrzeit wurden die Empfehlungen der UIC herangezogen, wonach bei lokbespannten Reisezügen bis 140 km/h ein Zeitzuschlag von 4 % der Nettofahrzeit und bei Triebwagen 3 % Aufschlag vorzusehen ist. Diese Zuschläge wurden im Sinne eines symmetrischen Fahrplans auf die jeweils längere Fahrzeit der beiden Richtungen addiert. Die zusätzlich nach UIC vorgesehenen 1,5 Minuten pro 100 gefahrenen Kilometern wurden durch das konsequente Aufrunden der Bruttozeiten zu den Planzeiten (in manchen Fällen sogar noch um eine Minute verlängert) erreicht. (59)

Tabelle 12: Übersicht über die Fahrzeiten der geplanten Linien gemäß OpenTrack-Simulation

IC-Linie 1 Beograd - Subotica				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Beograd C - Novi BG	269 s	325 s	338 s	6 min
Novi BG - St. Pazova	1458 s	1464 s	1523 s	26 min
St. Pazova - Indija	362 s	358 s	376 s	7 min
Indija - Novi Sad	1859 s	1858 s	1933 s	33 min
Novi Sad - Vrbas	2031 s	2031 s	2112 s	36 min
Vrbas - B. Topola	2150 s	1929 s	2236 s	37 min
B. Topola - Subotica	2387 s	2357 s	2482 s	42 min

IC-Linie 3 Beograd - Užice				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Beograd C - Rakovica	582 s	610 s	634 s	12 min
Rakovica - Lazarevac	2865 s	2860 s	2980 s	52 min
Lazarevac - Lajkovac	368 s	366 s	383 s	7 min
Lajkovac - Valjevo	989 s	994 s	1034 s	18 min
Valjevo - Kosjerić	2265 s	2268 s	2359 s	40 min
Kosjerić - Požega	1499 s	1505 s	1565 s	27 min
Požega - Užice	1037 s	1020 s	1078 s	18 min

IC-Linie 2 Beograd - Niš				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Beograd C - Rakovica	582 s	610 s	634 s	12 min
Rakovica - Mladenovac	3333 s		3466 s	58 min
Mladenovac - Palanka	1515 s		1576 s	27 min
Palanka - V. Plana	511 s		531 s	9 min
Rakovica - M. Krsna		3301 s	3433 s	59 min
M. Krsna - V. Plana		1542 s	1604 s	27 min
V. Plana - Lapovo	762 s	762 s	792 s	14 min
Lapovo - Jagodina	996 s	996 s	1036 s	18 min
Jagodina - Čuprija	611 s	603 s	635 s	11 min
Čuprija - Paraćin	345 s	353 s	367 s	7 min
Paraćin - Stalać	830 s	830 s	863 s	15 min
Stalać - Aleksinac	1734 s	1742 s	1812 s	31 min
Aleksinac - Niš	1257 s	1220 s	1307 s	23 min

IC-Linie 4 Stalać - Užice				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Stalać - Kruševac	888 s	923 s	951 s	17 min
Kruševac - V. Banja	2078 s	2136 s	2200 s	37 min
V. Banja - Kraljevo	1681 s	1681 s	1731 s	29 min
Kraljevo - Čačak	1380 s	1386 s	1428 s	24 min
Čačak - Požega	1375 s	1372 s	1416 s	24 min
Požega - Užice	1016 s	986 s	1046 s	18 min

IC-Ergänzungslinie Lapovo - Kraljevo				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Lapovo - Kragujevac	2237 s	2282 s	2350 s	49 min
Kragujevac - Kraljevo	4121 s	4075 s	4245 s	83 min

EC-Linie Beograd - Kroatien				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Beograd C - Novi BG	269 s	325 s	338 s	6 min
Novi BG - St. Pazova	1458 s	1464 s	1523 s	26 min
St. Pazova - Ruma	953 s	953 s	991 s	17 min
Ruma - Sr. Mitrovica	613 s	613 s	638 s	11 min
Sr. Mitrovica - Šid	1154 s	1127 s	1200 s	21 min

EC-Linie Beograd - Rumänien				
Strecke	Fz Ri 1	Fz Ri 2	Bruttoz	Planzeit
Beograd C - Pančevo	1102 s	1137 s	1182 s	20 min
Pančevo - Alibunar	1664 s	1665 s	1732 s	29 min
Alibunar - Vršac	1424 s	1396 s	1481 s	25 min

Es seien noch folgende Anmerkungen getätigt: Die Aufenthalte in den Stationen sind in Tabelle 12 noch nicht inkludiert und richten sich nach den in Abbildung 18 angegebenen Zeiten. Die fehlenden Zahlenwerte auf der IC-Linie 2 hängen mit dem praktizierten Einbahnbetrieb zwischen Rakovica und Velika Plana zusammen. Die in Fahrtrichtung 1 deutlich längere Fahrzeit zwischen Vrbas und Bačka Topola auf der IC-Linie 1 ist der Kreuzung in Mali Idoš geschuldet und wurde entsprechend in der Planzeit berücksichtigt. Die hohen Zuschläge auf die Bruttozeiten der Ergänzungslinie liegen in den Anschlüssen in Kraljevo und Lapovo begründet (siehe Kapitel 4.5). Hier wird zu überprüfen sein, ob und wie viele weitere Zwischenhalte technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll sind.

5.5 Ergebnisse der Betriebssimulation

In diesem Kapitel wird aufbauend auf die Ergebnisse der Betriebssimulation das Zweite Taktkonzept nochmals leicht überarbeitet. Es werden globale Betrachtungen zu Betriebsablauf und dessen Qualität geliefert und in weiterer Folge die beobachteten Vorgänge netzweit und am Beispiel einer Linie in Form eines Zwei-Stunden-Ausschnittes des grafischen Fahrplanes dargestellt.

Mit den in Tabelle 12 ermittelten Fahrplanzeiten wurde der Simulationsablauf erneut abgewickelt und die Annahme bestätigt, dass das geplante Taktkonzept betrieblich durchführbar ist. Tabelle 13 zeigt dazu die maximalen, minimalen und durchschnittlichen Planzeitabweichungen sowie die Gesamtzahl aller im Laufe von 24 Stunden ankommenden Züge in den einzelnen Bahnhöfen. Da die abfahrenden Züge die verlautbarte Abfahrtszeit abwarten, fahren sie allesamt auf die Sekunde pünktlich ab.

Tabelle 13: Planzeitabweichungen der ankommenden Züge in den einzelnen Bahnhöfen

Bahnhof	Züge	Abw _{min}	Abw _{max}	Abw _Ø
Alibunar	14	-76	-104	-90
Aleksinac	16	-126	-160	-143
Beograd C.	40	-35	-110	-72
B. Topola	18	-163	-293	-228
Čačak	14	-60	-68	-64
Ćuprija	16	-49	-67	-58
Indija	18	-58	-122	-90
Jagodina	16	-57	-84	-71
Kragujevac	12	-703	-905	-804
Kosjerić	18	-115	-135	-125
Kraljevo	20	-54	-859	-114
Kruševac	14	-132	-144	-138
Lapovo	22	-78	-658	-238
Lajkovac	18	-52	-86	-69
Lazarevac	18	-52	-255	-154
M. Krsna	8	-678	-678	-678
Mladenovac	8	-147	-147	-147
Novi BG	32	-81	-96	-91
Niš	8	-123	-123	-123

Bahnhof	Züge	Abw _{min}	Abw _{max}	Abw _Ø
Novi Sad	18	-121	-129	-125
Požega	32	-60	-121	-86
Pančevo	14	-75	-98	-87
Palanka	8	-105	-105	-105
Paraćin	16	-70	-75	-73
Rakovica	34	-53	-239	-137
Ruma	14	-47	-67	-57
Šid	7	-106	-106	-106
Sr. Mitrovica	14	-47	-133	-90
Stalać	23	-70	-118	-95
St. Pazova	32	-62	-90	-80
Subotica	9	-133	-133	-133
Užice	16	-43	-64	-54
Valjevo	18	-91	-132	-112
V. Banja	14	-59	-142	-101
V. Plana	16	-29	-78	-54
Vršac	7	-76	-76	-76
Vrbas	18	-129	-291	-210

Es zeigt sich, dass unter idealen Bedingungen an keinem einzigen Bahnhof Ankunftsverspätungen auftreten. Die Züge treffen im Mittel zwischen 30 und 150 Sekunden zu früh ein, einen besonderen Ausreißer stellt die Ergänzungslinie Lapovo – Kraljevo dar, auf die unten noch eingegangen wird. Weitere besonders große frühzeitige Ankünfte sind zwischen Vrbas und Bačka Topola zu verzeichnen, wo dazwischen eine fliegende Kreuzung mit entsprechender Fahrzeitreserve stattfindet sowie auf der Linie Velika Plana – Mala Krsna – Rakovica, die von der Fahrzeit knapp 10 Minuten unter der Linie über Mladenovac liegt. Im Sinne des symmetrischen Fahrplanes und um etwaige Verspätungen nicht nach Belgrad zu übertragen, sind hier entsprechende Fahrzeitreserven vorgesehen.

Durch die hohen Fahrzeitreserven ist es möglich, auf der Strecke Niš – Beograd fast 30 Minuten Verspätung aufzuholen, auf den Strecken von Subotica und Užice sind es etwa 15 Minuten und auf den internationalen Linien von Kroatien und Rumänien immerhin noch sechs bzw. vier Minuten. Auch die Stationsaufenthalte können im Verspätungsfall um ein bis zwei Minuten gekürzt werden, was pro Linie weitere fünf bis fünfzehn Minuten Zeitreduktion bewirken kann, so ist etwa die Aufenthaltszeit in Pančevo von 16 Minuten auch trotz Lokwechsels leicht zu reduzieren. Es ist also davon auszugehen, dass der vorgeschlagene Fahrplan stabil gefahren werden kann, wenn die in Tabelle 11 angeführten Maßnahmen (zumindest jene mit hoher und mittlerer Priorität) umgesetzt werden.

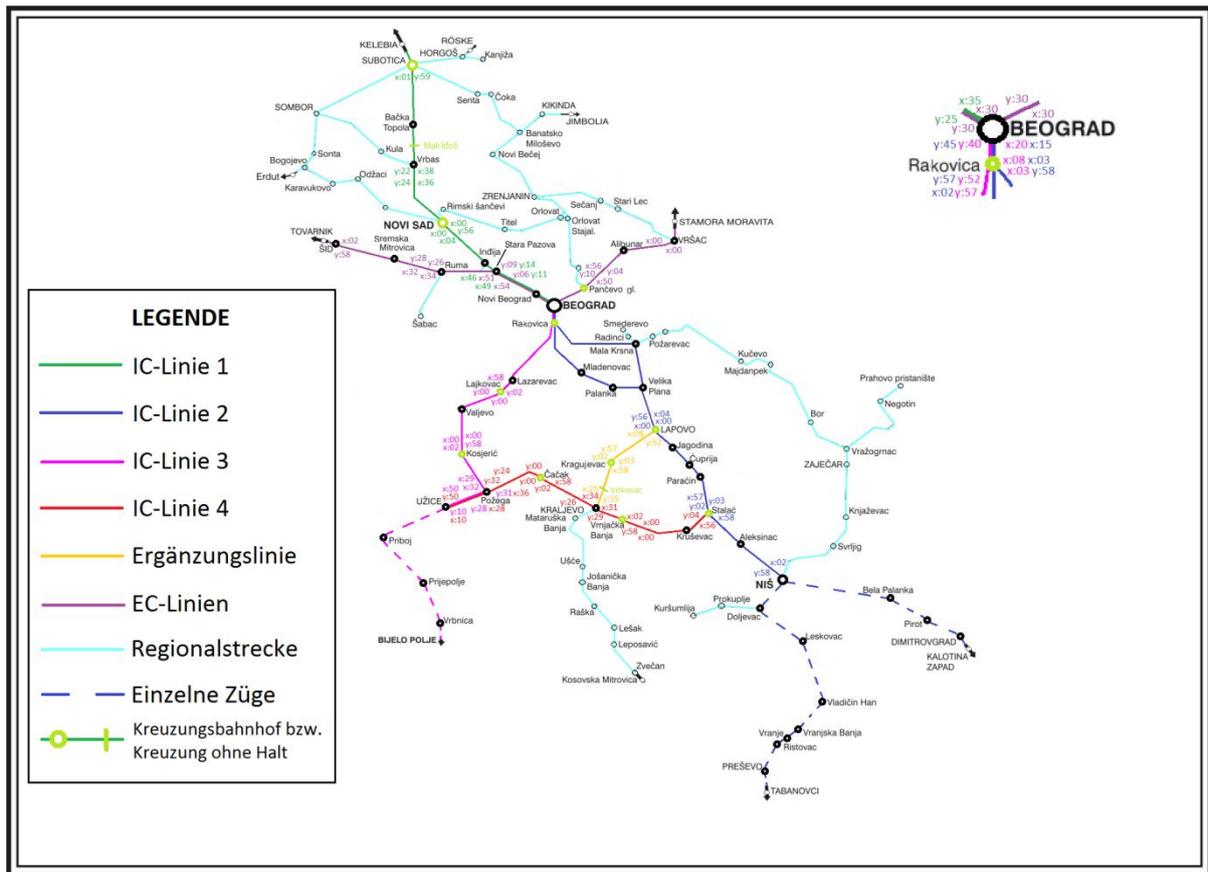


Abbildung 27: Übersicht des angepassten Zweiten Taktkonzepts (eigenes Werk nach Abbildung 4)

In der Charakteristik der sieben Linien hat sich durch die Erfahrungen aus der Betriebssimulation nichts geändert. Die Fahrzeitanpassungen nach Tabelle 12 sind in Abbildung 27 im Vergleich zu Abbildung 18 ersichtlich und liegen im einstelligen Minutenbereich. Die größten Änderungen ergeben sich mit jeweils fünf Minuten in Beograd Centar und Vršac, da bei der Handrechnung die Beschleunigungswerte der Reihe 661 zu optimistisch angesetzt wurden. Am Gesamtgefüge ändert sich hierdurch jedoch nichts. An den übrigen Bahnhöfen betragen die Anpassungen zwischen null und drei Minuten, wie die Grafik der Umsteigebeziehungen in Abbildung 28 zeigt. Es wurden wieder die aus den Abbildungen 17 und 19 bekannten Konventionen zur Darstellung der Knotenbahnhöfe verwendet.

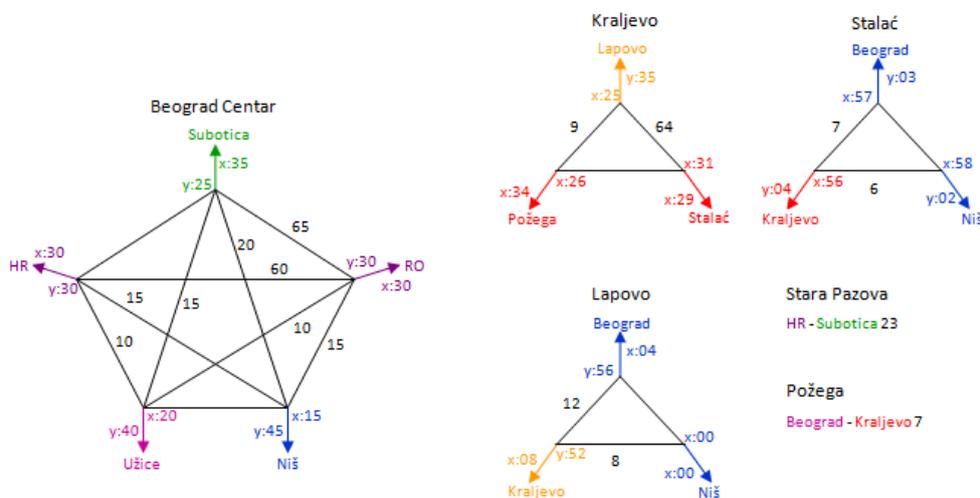


Abbildung 28: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 27 (eigenes Werk)

Zur Beschreibung der einzelnen Knotenbahnhöfe sei an dieser Stelle auf den Abschnitt zum Zweiten Taktkonzept in Kapitel 4.5 verwiesen, in dem diese in ausführlicher Form dargelegt sind. Auch auf die umfassende Darstellung der sieben Linien wird hier verzichtet und auf die obigen Beschreibungen verwiesen. Als Beispiel wird lediglich ein Ausschnitt aus dem Bildfahrplan der 176,5 km langen Strecke Beograd – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica im Intervall von 12:00 bis 14:00 in Abbildung 29 gezeigt. Da das dem Fahrplan zugrunde liegende Konzept auf einem Zwei-Stunden-Takt beruht ist es ausreichend, einen zweistündigen Ausschnitt darzustellen. Grafische Fahrpläne aller Streckenabschnitte sowie weitere Auswertungen finden sich im Anhang (Abbildungen 31 bis 38).

Beograd Centar - Subotica

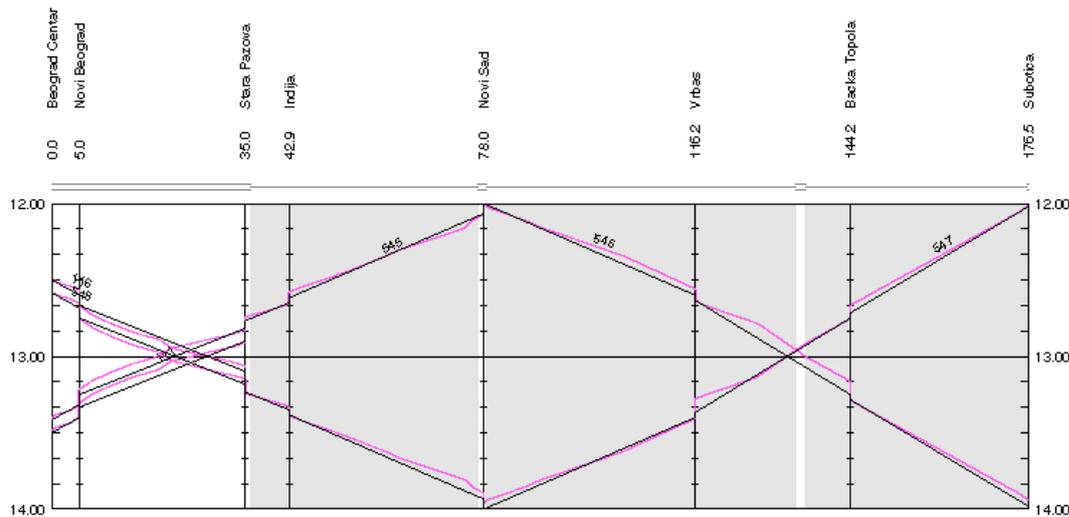


Abbildung 29: Zweistündiger Ausschnitt des Bildfahrplanes der Strecke Beograd - Subotica

In schwarz markiert sind die theoretischen Fahrzeiten der einzelnen Züge auf Basis der Abfahrts- und Ankunftszeiten in den Bahnhöfen, jedoch ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Geschwindigkeiten entlang der Strecke. Violett dargestellt sind die aus der Simulation entnommenen, tatsächlichen Fahrzeiten der Züge, wobei sich die Fahrzeitreserven in verlängerten Aufenthalten auf den Zwischenbahnhöfen niederschlagen. Hellgrau hinterlegt sind die eingleisigen Abschnitte, d.h. Stara Pazova – Subotica mit Ausnahme des Kreuzungsbereiches in Mali Idoš (siehe oben, in Abbildung 29 nicht beschriftet). Im Abschnitt Beograd – Stara Pazova sind die nach und von Subotica fahrenden IC-Züge jeweils fünf Minuten nach bzw. vor einem nach oder von Šid verkehrenden EC-Zug unterwegs.

Zur Ergänzungslinie Lapovo – Kraljevo ist noch zu erwähnen, dass diese in der Simulation mit lediglich einem Zwischenhalt in Kragujevac angenommen wurde. Da trotz großzügiger Übergangs- und Wendezeiten in Kraljevo und Lapovo eine zusätzliche Fahrzeitreserve von knapp über 21 Minuten vorliegt, wären neben Kragujevac sieben weitere Zwischenhalte rechnerisch möglich, nachdem aufgrund der konstant niedrigeren Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h auf der gesamten Strecke ein zusätzlicher Zwischenhalt weniger als drei Minuten Zeit benötigt.

Bei der Auswahl möglicher weiterer Halte ist jedoch zu bedenken, dass mit Batočina lediglich ein an der Bahnstrecke liegender Ort über 5000 Einwohner hat, die nächstgrößeren Ortschaften sind Knić mit 2300 und Vitanovac mit 1650 Einwohnern. Im Kreuzungshalt Vitkovac leben lediglich gut 800 Menschen. (60) Die ŽS-Fahrgaststatistiken (38) belegen die geringe Inanspruchnahme der Zwischenhalte auf jener Strecke, auch wenn diese durch das bislang karge Zugangebot nicht sehr aussagekräftig sind.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Betriebssimulation mit OpenTrack das vorgeschlagene Taktkonzept bestätigt. Bedingt durch die lediglich geringen Fahrzeitabweichungen konnten alle Anschlussbeziehungen beibehalten werden. Einige wurden sogar noch verbessert, so

beträgt etwa die Wartezeit für den Eckanschluss Šid – Subotica in Stara Pazova nunmehr 23 statt 29 Minuten und die eher knapp bemessenen Umsteigezeiten in Lapovo wurden leicht verlängert, um einen reibungslosen Fahrgastwechsel zu ermöglichen. In Verbindung mit den in Tabelle 11 genannten geringfügigen Ausbaumaßnahmen kann der vorgeschlagene Fahrplan als Beispiel für die praktikable Umsetzung eines Taktkonzeptes am serbischen Eisenbahnnetz dienen.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde aufbauend auf die historische, geografische, politische und technische Analyse des Eisenbahnsystems in Serbien ein Taktfahrplankonzept für den Personenfernverkehr entwickelt, welches mit möglichst geringen Investitionen in die bestehende Infrastruktur realisiert werden kann.

Taktfahrpläne zeichnen sich durch konstante, periodisch wiederkehrende Abfahrts- und Ankunftszeiten der Züge aus und sind so für den Fahrgast leicht merkbar und zuverlässig, da das Angebot jeden Tag zu jeder Zeit dasselbe ist. Auch betrieblich bieten sie Vorteile, da das Rollmaterial im ständigen Einsatz steht und nicht nur zu Spitzenzeiten verwendet wird. Das gleiche gilt für das Eisenbahnpersonal, welches durch die Kontinuität der angebotenen Züge flexibler eingesetzt werden kann.

Es würde im Vergleich zu heute die dreifache Anzahl an Fernzugsverbindungen angeboten werden, was natürlich ausgabenseitig zu starken Mehrkosten führen würde. Dennoch ist von einem stärkeren Kostendeckungsgrad auszugehen, da nur ein verlässliches Eisenbahnsystem von den Fahrgästen angenommen wird. Es besteht also Grund zur Annahme, dass die Inanspruchnahme der Züge durch einen gut verknüpften Taktfahrplan auf Kosten der Autobusse steigt.

Die Ursache für die Wahl des Zweistundentaktes am gesamten Netz liegt in der derzeitigen Situation der Serbischen Eisenbahnen begründet. Es ist das kürzest mögliche Intervall, das unter den derzeitigen Bedingungen eingeführt werden kann, ohne gravierende Neuinvestitionen in Infrastruktur und Rollmaterial zu erfordern, andererseits das längst mögliche, welches noch unter den Rahmenbedingungen eines echten Taktfahrplanes realisiert werden kann.

Bewährt sich das vorgeschlagene Konzept, besteht natürlich die Möglichkeit, mit fortschreitendem Streckenausbau und nach Anschaffung neuer Triebfahrzeuge und Waggonen auch einen Stundentakt (zumindest auf Teilen des Netzes) einzuführen und die Reisegeschwindigkeit in einem erheblichen Maß zu steigern. Dabei sollte der Ausbau jedoch vor allem in Hinblick auf einen wieder gut harmonisierten Fahrplan erfolgen, d.h. es sollte die Reisezeit zwischen zwei Knoten idealerweise knapp 30 oder 60 Minuten betragen.

Der Güterverkehr wurde in dieser Analyse zwar nicht mit einbezogen, erweist sich jedoch nicht als Stolperstein. Zwischen den Trassen der Fernverkehrszüge ergeben sich ausreichende Lücken, um zahlreiche Güterzüge auf den Hauptstrecken führen zu können und auch Nahgüterzüge in den Fahrplan aufzunehmen.

Ähnliches gilt für den Regionalverkehr. Durch die Schaffung von Taktknoten in den Bahnhöfen, von denen weitere Strecken abzweigen, ist es möglich, dort attraktive Umsteigebeziehungen zu den Regionalzügen anzubieten. So bietet das entwickelte Konzept auch Vorteile für hierin nicht betrachtete Streckenabschnitte. Der Regionalverkehr entlang der Hauptstrecken kann analog zum Güterverkehr auch zwischen den Trassen der Fernverkehrszüge geführt werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das derzeit nicht optimal genutzte Potential der serbischen Eisenbahnstrecken mit einem attraktiven Fahrplan, der sich durch kurze und zuverlässige Anschlüsse auszeichnet, im erheblichem Maß gesteigert werden und zur gedeihlichen Entwicklung der Eisenbahn in diesem Land führen kann.

Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 14: Verzeichnis der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Abkürzungen

Allgemeine Physikalische Größen und Formelzeichen	
Beschleunigung	a
Durchschnitt	\emptyset
Kilometer	km
Kraft	F
Masse allgemein, Zugmasse	m
Minute	min
Sekunde	s
Stunde	h
Tonne	t

Physikalische Größen für den Eisenbahnbetrieb	
Beschleunigungswiderstand	w_p
Bremsweglänge	l_{br}
Bremswiderstand	w_{br}
Faktor für die rotierenden Massen	β
Grundwiderstand	w'
Haftreibungsbeiwert	f
Kantenzeit	t_k
Krümmungswiderstand	w_b
Leistungszugkraft	Z_L
Luftwiderstand	w_v
Reibungsgewicht	Q_R
Reibungszugkraft	Z_R
Steigungswiderstand	w_s
Taktzeit	t_T
Triebfahrzeugleistung	N
Zuggesamtgewicht	Q_{ges}
Zugkraftüberschuss	ΔZ

Bahnspezifische Begriffe	
Eurocity-Zug	EC
European Rail Traffic Management System	ERTMS
Induktive Zugsicherung	Indusi
Integraler Taktfahrplan	ITF
Intercity-Zug	IC
Neuer Austrotakt	NAT
Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm	Z-V-Diagr.

Allgemeine Bezeichnungen	
Beograd	BG
Bruttoinlandsprodukt	BIP
Million	Mio
Personenkilometer	PKM
Tonnenkilometer	TKM

Geografische Bezeichnungen	
Beograd	BG
Čačak	ČA
Kragujevac	KG
Kraljevo	KV
Kruševac	KŠ
Niš	NI
Novi Sad	NS
Pančevo	PA
Sr. Mitrovica	SM
Subotica	SU
Užice	UE
Valjevo	VA
Vršac	VŠ
Europäische Union	EU
Vereinte Nationen	UNO

Eisenbahngesellschaften und -verbände	
Bulgarische Staatseisenbahnen (Bălgarski Dăržavni Źeleznici)	BDŹ
Kroatische Eisenbahnen (Hrvatske Źeljeznice)	HŹ
Mazedonische Eisenbahnen (Makedonski Źeleznici)	MŹ
Österreichische Bundesbahnen	ÖBB
Rumänische Eisenbahnen (Căile Ferate Române)	CFR
Serbische Eisenbahnen (Źeljeznice Srbije)	ŹS
Ungarische Staatsbahnen (Magyar Államvasutak)	MÁV
Internationaler Eisenbahnverband (Union internationale des chemins de fer)	UIC

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte Serbiens von der Unabhängigkeit 1878 bis zur ersten Balkankrieg 1912 (1)	9
Abbildung 2: Karte des Eisenbahnnetzes im SHS-Königreich um 1930 (5)	12
Abbildung 3: Im Personenverkehr bediente Strecken der Jugoslawischen Eisenbahnen 1991 (8)	15
Abbildung 4: Streckennetz der ŽS, Karte aus (12) adaptiert mit Informationen aus (13).....	18
Abbildung 5: Zeitliche Übersicht über die Generalüberholungen am Netz der ŽS (16).....	20
Abbildung 6: Projektierte Streckenhöchstgeschwindigkeiten am Netz der ŽS (18)	21
Abbildung 7: Tatsächliche Streckengeschwindigkeiten (ohne kleinräumige Langsamfahrstellen) am Netz der ŽS und ŽCG (19)	21
Abbildung 8: Übersicht über die Signalisierungs- und Sicherungssysteme im Netz der ŽS (16)	22
Abbildung 9: Streckenklassen und Achslasten am Netz der ŽS (16)	23
Abbildung 10: Übersicht der 14 von der EU vorgeschlagenen Projekte zur Verbesserung des Schienenverkehrs in Serbien (27)	28
Abbildung 11: Ausschnitt aus einem Taktkonzept für die Strecke Zürich – Bern (33).....	30
Abbildung 12: Beispiele für nicht in einen idealen ITF integrierbare Netzformen (31)	31
Abbildung 13: Überblick über das geplante Linienschema (eigenes Werk nach Abbildung 4)	34
Abbildung 14: Fahrzeiten zwischen den Knotenpunkten (eigenes Werk nach Abbildung 4)	37
Abbildung 15: Vergleich verschiedener Kantenfahrzeiten auf den drei Kreisen zwischen Rakovica, Požega, Kraljevo, Stalać und Lapovo (eigenes Werk)	38
Abbildung 16: Linienschema für das erste Taktkonzept (eigenes Werk nach Abbildung 4)	39
Abbildung 17: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 16 (eigenes Werk)	41
Abbildung 18: Linienschema für das Zweite Taktkonzept (eigenes Werk nach Abbildung 4)	44
Abbildung 19: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 18 (eigenes Werk)	46
Abbildung 20: Belegungsplan für den Bahnhof Beograd Centar gemäß Abbildungen 18 und 19 (eigenes Werk).....	46
Abbildung 21: Z-V-Diagramm der elektrischen Lokomotive 1141.2 der HŽ (55).....	52
Abbildung 22: Grundlegende Funktionsweise von OpenTrack (57)	54
Abbildung 23: Elemente der OpenTrack-Gleistopologie	55
Abbildung 24: Flussdiagramm für das Verhalten bei der Abfahrt an einer Station (57)	56
Abbildung 25: Flussdiagramm für das Verhalten bei einem Hauptsignal (57)	56

Abbildung 26: Ausschnitt aus der OpenTrack-Gleistopologie des beschriebenen Netzes	59
Abbildung 27: Übersicht des angepassten Zweiten Taktkonzepts (eigenes Werk nach Abbildung 4) ..	62
Abbildung 28: Umsteigebeziehungen auf den Knotenbahnhöfen nach Abbildung 27 (eigenes Werk)	62
Abbildung 29: Zweistündiger Ausschnitt des Bildfahrplanes der Strecke Beograd - Subotica	63
Abbildung 30: OpenTrack Gleistopologie des untersuchten Schienennetzes.....	74
Abbildung 31: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Subotica.....	75
Abbildung 32: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Šid	75
Abbildung 33: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Užice.....	76
Abbildung 34: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd – Niš	76
Abbildung 35: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Vršac	77
Abbildung 36: Grafischer Fahrplan der Strecke Stalać - Užice	77
Abbildung 37: Zulässige und tatsächliche Geschwindigkeiten des IC 591 im Laufweg Beograd - Niš...	78
Abbildung 38: Diagramme für Antriebsleistung und Zugkraft des IC 591 im Laufweg Beograd - Niš ...	78
Abbildung 39: ŽS 441 708, B 1120, 14.7.2009, Novi Sad.....	79
Abbildung 40: ŽS 444 019, B 418, 8.10.2009, Beograd	79
Abbildung 41: ŽS 461 130, B 434, 6.7.2009, Beograd	79
Abbildung 42: ŽS 661 118, B 360, 24.10.2009, Beograd	80
Abbildung 43: ŽS 712 209, P 5431, 12.7.2009, Novi Sad.....	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur bis zum Ersten Weltkrieg – Eigene Adaptierung nach (3).....	10
Tabelle 2: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur in der Zwischenkriegszeit – Eigene Adaptierung nach (3)	11
Tabelle 3: Übersicht über die Eröffnungsdaten bedeutender serbischer Eisenbahnstrecken in Normalspur nach dem Zweiten Weltkrieg – Eigene Adaptierung nach (3).....	14
Tabelle 4: Übersicht über die Elektrifizierung der serbischen Eisenbahnstrecken – Eigene Adaptierung nach (3)	15
Tabelle 5: Übersicht der Städte über 50 000 Einwohner sowie wichtiger Bahnknotenpunkte auf Basis der serbischen Volkszählung 2002 (15)	19
Tabelle 6: Verfügbarkeit, Bedarf und tatsächlicher Einsatz der Fahrbetriebsmittel der ŽS 2006 (16) ..	24
Tabelle 7: Personen- und Güterverkehrsleistungen der ŽS im Jahr 2006 im Vergleich zu 2005 und zum Plan für 2006 (16)	25
Tabelle 8: Übersicht über die Fahrzeiten der sieben geplanten Linien gemäß (13).....	36
Tabelle 9: Fahrzeiten nach dem Ersten und Zweitem Taktkonzept (eigenes Werk)	47
Tabelle 10: Übersicht über Abfahrtszeiten und Triebfahrzeugbedarf der Züge auf den einzelnen Linien gemäß Abbildung 18 (eigenes Werk).....	48
Tabelle 11: Notwendige und sinnvolle Investitionen zur Einführung eines ITF gemäß Zweitem Taktkonzept, eigene Überlegungen nach (11), (24), (26) und (45)	50
Tabelle 12: Übersicht über die Fahrzeiten der geplanten Linien gemäß OpenTrack-Simulation.....	60
Tabelle 13: Planzeitabweichungen der ankommenden Züge in den einzelnen Bahnhöfen	61
Tabelle 14: Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	66

Quellenverzeichnis

1. **Oberegger, Elmar.** Serbische Eisenbahnen. [Online] 2006. [Zitat vom: 11. Februar 2012.] <http://members.a1.net/edze/enzyklopaedie/serbien.htm>.
2. **Weber, Josip.** *150 godina železničkog saobraćaja u Vojvodini.* Beograd : Klub ljubitelja železnice „Pančevo“, 2006.
3. **Grujić, Milan und Bundalo, Zoran.** *Železnice Srbije.* Beograd : Preduzeće za železničku izdavačko-novinsku delatnost d.o.o., 2004.
4. **Stöckl, Fritz.** *Eisenbahnen in Südosteuropa.* Wien : Bohmann, 1975.
5. **Orjen.** Wikipedia - Map railroads Kingdom SHS. [Online] 5. Oktober 2011. [Zitat vom: 20. Oktober 2011.] http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Map_railroads_Kingdom_SHS.jpg&filetimestamp=20111005172919.
6. **Nikolić, Jezdimir S.** *Istorija železnica Srbije, Vojvodine, Crne Gore i Kosova.* Beograd : Želnid, 1980.
7. **Železnice Srbije.** Na Dan železničara najavljen početak sveobuhvatne modernizacije srpskih železnica. [Online] 16. September 2008. [Zitat vom: 17. Oktober 2011.] http://www.zeleznicesrbije.com/system/sr-latin/home/newsplus/viewsingle/_params/newsplus_news_id/18561.html.
8. **Jugoslovenske Železnice.** *Red Vožnje 1989/90.* Beograd : Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost JŽ, 1989.
9. **Železnice Srbije.** Safety and Security Installations. [Online] [Zitat vom: 20. Oktober 2011.] http://www.serbianrailways.com/active/en/home/glavna_navigacija/infrastruktura/elektrotehnicka_postrojenja/ss_postrojenja.html.
10. —. Telephone-Telegraph Installations. [Online] [Zitat vom: 20. Oktober 2011.]
11. —. Electrification and renovation of Railway Center Kraljevo. [Online] 18. Januar 2007. [Zitat vom: 2. November 2010.] http://www.zeleznicesrbije.com/system/en/home/newsplus/viewsingle/_params/newsplus_news_id/9566.html.
12. —. *Red vožnje 2009/2010.* Beograd : Želnid, 2009.
13. —. *TABLICA 5 ZA RED VOŽNJE 2010/2011.* [Excel-Datei] Beograd : JP Železnice Srbije, 2010.
14. **CIP, Saobraćajni institut.** Generalni projekat pruge Raška - Novi Pazar. [Online] 2007. [Zitat vom: 2. November 2011.] <http://www.sicip.co.rs/sr/delatnost/tehnickaDokumentacija/gradjevinskiProjekti/zeleznickaInfrastruktura/pruge/story/45/Generalni+projekat+pruge+Ra%C5%A1ka+-+Novi+Pazar+.html>.
15. **World Gazetteer.** Serbien: Die wichtigsten Orte mit Statistiken zu ihrer Bevölkerung. [Online] [Zitat vom: 2. November 2011.] <http://bevoelkerungsstatistik.de/wg.php?x=1&men=gcis&lng=de&des=gamelan&geo=-244&col=abcdefghijklhinoq&msz=1500&pt=c&va=&srt=pnao>.

16. **Maglia, Enrico et.al.** *General Master Plan for Transport in Serbia - Annex II.* s.l. : Italferr S.p.A, IIPP, CityNet, NEA and Witteveen+BOS, 2009.
17. *Železnice na čak 400 deonica morale da uspore vozove.* **Stamenković, Bojana und Spasić, Vladimir.** Beograd : Blic, 22. September 2011.
18. **ŽTP "Beograd".** *Karta železničke mreže sa pregledom projektovanih brzina.* [Digitale Karte] Beograd : ŽTP "Beograd", 2003.
19. **Dukai, David et.al.** *Karta dozvoljenih brzina na prugama Železnica Srbije.* [Digitale Karte] Beograd : privat, 2010.
20. **Beogradska Autobuska Stanica.** Red vožnje. [Online] 11. November 2011. [Zitat vom: 11. November 2011.] <http://www.bas.rs/RedVoznje.aspx?lng=sl>.
21. **Železnice Srbije.** Red vožnje. [Online] 11. November 2011. [Zitat vom: 11. November 2011.] <http://w3.srbrail.rs/zsredvoznje/?lang=sr>.
22. **Anđelković, Milan.** *Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz des Eisenbahnverkehrs auf dem Korridor X und ihre Auswirkungen auf das Verkehrssystem.* Wien : TU Wien Diplomarbeit, 2005.
23. **Železnice Srbije.** Generalni direktor "Železnica Srbije" Milovan Marković obišao gradilište novog železničkog mosta kod Čuprije. [Online] 4. November 2011. [Zitat vom: 7. November 2011.] http://www.zeleznicesrbije.com/system/sr-latin/home/newsplus/viewsingle/_params/newsplus_news_id/31970.html.
24. **Gradjevinarstvo.rs.** Modernizacija pruge Niš-Dimitrovgrad u toku 2011. godine. [Online] 26. Mai 2011. [Zitat vom: 7. November 2011.] <http://www.gradjevinarstvo.rs/VestDetalji.aspx?ban=810&vestid=3597>.
25. **Milenković, S.** Grad Kruševac - A vozovi prolaze... [Online] 2011. [Zitat vom: 11. November 2011.] <http://krusevacgrad.rs/sr/197/20/523/?tpl=43>.
26. **Železnice Srbije.** Stigla prva od 12 ruskih garnitura. [Online] 19. August 2011. [Zitat vom: 11. November 2011.] http://zeleznicesrbije.com/system/sr-latin/home/newsplus/viewsingle/_params/newsplus_news_id/30746.html.
27. **Maglia, Enrico et.al.** *Generalni Master plan saobraćaja u Srbiji - Završni izveštaj – Sažeti izveštaj.* s.l. : Italferr S.p.A, IIPP, CityNet, NEA and Witteveen+BOS, 2009.
28. **Željeznički Prevoz Crne Gore.** Arhiva Kretanja Vozova. [Online] 6. Dezember 2011. [Zitat vom: 6. Dezember 2011.] http://www.zcg-prevoz.me/Arhiva_kasnjenja_vozova.html.
29. **Central Intelligence Agency.** The CIA World Factbook. [Online] 10. November 2011. [Zitat vom: 6. Dezember 2011.] <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ri.html>.
30. **Beck, Michael J.** *Hierarchische Planung eines symmetrischen Taktfahrplans im Schienenpersonenverkehr.* Frankfurt am Main : Peter Lang GmbH, 2007.
31. **Stottmeister et.al.** *Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan.* [Hrsg.] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln : FGSV Verlag, 2001.
32. **LITRA - Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr.** Seit 1982 fährt die Schweiz im Takt. [Online] 14. Mai 2007. [Zitat vom: 6. Dezember 2011.] http://www.litra.ch/Seit_1982_fahrt_die_Schweiz_im_Takt.html.

33. **Kräuchi, Christian und Stöckli, Ueli.** *Mehr Zug für die Schweiz.* Zürich : AS Verlag & Buchkonzept AG, 2004.
34. **ÖBB Personenverkehr AG.** Fahrplanauskunft 2010/2011. [Online] 6. Dezember 2011. [Zitat vom: 8. Dezember 2011.] <http://fahrplan.oebb.at/bin/query.exe/dn?>
35. **N.N.** NAT. *Eisenbahn.* 1991, 9.
36. —. Der neue Austro-Takt (NAT '91). *Eisenbahn.* 1991, 7.
37. —. NAT 91. *Eisenbahn.* 1991, 8.
38. **Železnice Srbije.** *Statistike ŽS 2009.* Beograd : S.I.C.I.P., 2010.
39. *Ruski dolari dovršavaju „Prokop“.* **Luković, M.** Beograd : Politika, 2010.
40. **Blic Online.** „Prokop“ gotov do decembra. [Online] 11. Februar 2009. [Zitat vom: 29. November 2011.] <http://www.blic.rs/Vesti/Beograd/78529/Prokop-gotov-do-decembra>.
41. **Rüger, Bernhard.** *Eisenbahnwesen Übung.* Wien : Institut für Eisenbahnwesen, TU Wien, 2006.
42. **Železnice Srbije.** *Red vožnje za službenu upotrebu 2010/2011.* Beograd : Želnid, 2010.
43. **Google Inc.** Google Maps. [Online] 2011. [Zitat vom: 12. 12 2011.] <http://maps.google.at>.
44. **Haudenschild, Roland.** *Taktfahrpläne und das Taktfahrplanprojekt der Schweizerischen Bundesbahnen.* Bern : Verlag Paul Haupt, 1981.
45. **N.N.** Wikipedia. *Bahnhof Belgrad Zentrum.* [Online] 26. Oktober 2011. [Zitat vom: 4. Dezember 2011.] http://de.wikipedia.org/wiki/Bahnhof_Belgrad_Zentrum.
46. **Železnice Slovenskej Republiky.** *Traťové cestovné poriadky 2010/2011.* Bratislava : s.n., 2010.
47. **Železnice Srbije.** *Obrada Turnusa za red vožnje 04/05 godinu.* Beograd : s.n., 2004.
48. **Hürlimann, Gisela.** *Die Eisenbahn der Zukunft.* Zürich : Chronos Verlag, 2007.
49. **N.N.** *Der Große Brockhaus.* Wiesbaden : F.A.Brockhaus, 1980.
50. **Hürlimann, Daniel.** OpenTrack Railway Technology - Eisenbahnsimulation. [Online] OpenTrack Railway Technology GmbH. [Zitat vom: 21. Januar 2012.] http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_d/opentrack_d.html#Partner.
51. **Fiedler, Joachim.** *Bahnwesen.* München : Werner Verlag, 2005.
52. **Litzka, Josef.** *Straßenwesen VO - Skriptum.* Wien : s.n., 2006.
53. **Petz, Michael.** *Spurführungstechnik VO, Skriptum.* Wien : s.n., 2009.
54. **Ostermann, Norbert.** *Eisenbahnwesen VO.* [Powerpoint-Präsentation] Wien : s.n., 2006.
55. **Švaljek, Ivan et.al.** *Tehničko-eksploatacijski pokazatelji i značajke vučnih vozila Hrvatskih Željeznica.* Zagreb : HŽ - Hrvatske željeznice d.o.o., 2003.
56. **Hürlimann, Daniel.** OpenTrack Railway Technology - Eisenbahnsimulation. [Online] OpenTrack Railway Technology GmbH. [Zitat vom: 22. Januar 2012.] http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_d/opentrack_d.html.
57. —. *OpenTrack Version 1.6.* Zürich : s.n., 2010.
58. **Železnice Srbije.** *Dijagrami trakcije.* [OpenTrack-Depot-Datei] Beograd : OpenTrack GmbH, 2011.

59. **Internationaler Eisenbahnverband.** *UIC-Kodex 451-1; In den Fahrplänen vorzusehende Fahrzeitzuschläge, um die pünktliche Betriebsabwicklung zu gewährleisten - Fahrzeitzuschläge.* Paris : Internationaler Eisenbahnverband (UIC), 2002.
60. **N.N.** Wikipedija. *Artikel zu Batočina, Knić, Vitanovac, Virkovac.* [Online] Wikimedia Foundation, 2012. [Zitat vom: 1. Februar 2012.] http://sr.wikipedia.org/sr-el/Glavna_strana.
61. —. The European Railway Server. [Online] 20. Januar 2012. [Zitat vom: 10. Februar 2012.] http://www.railfaneurope.net/list/serbia/serbia_zs.html.

Anhang
 OpenTrack - Gleistopologie

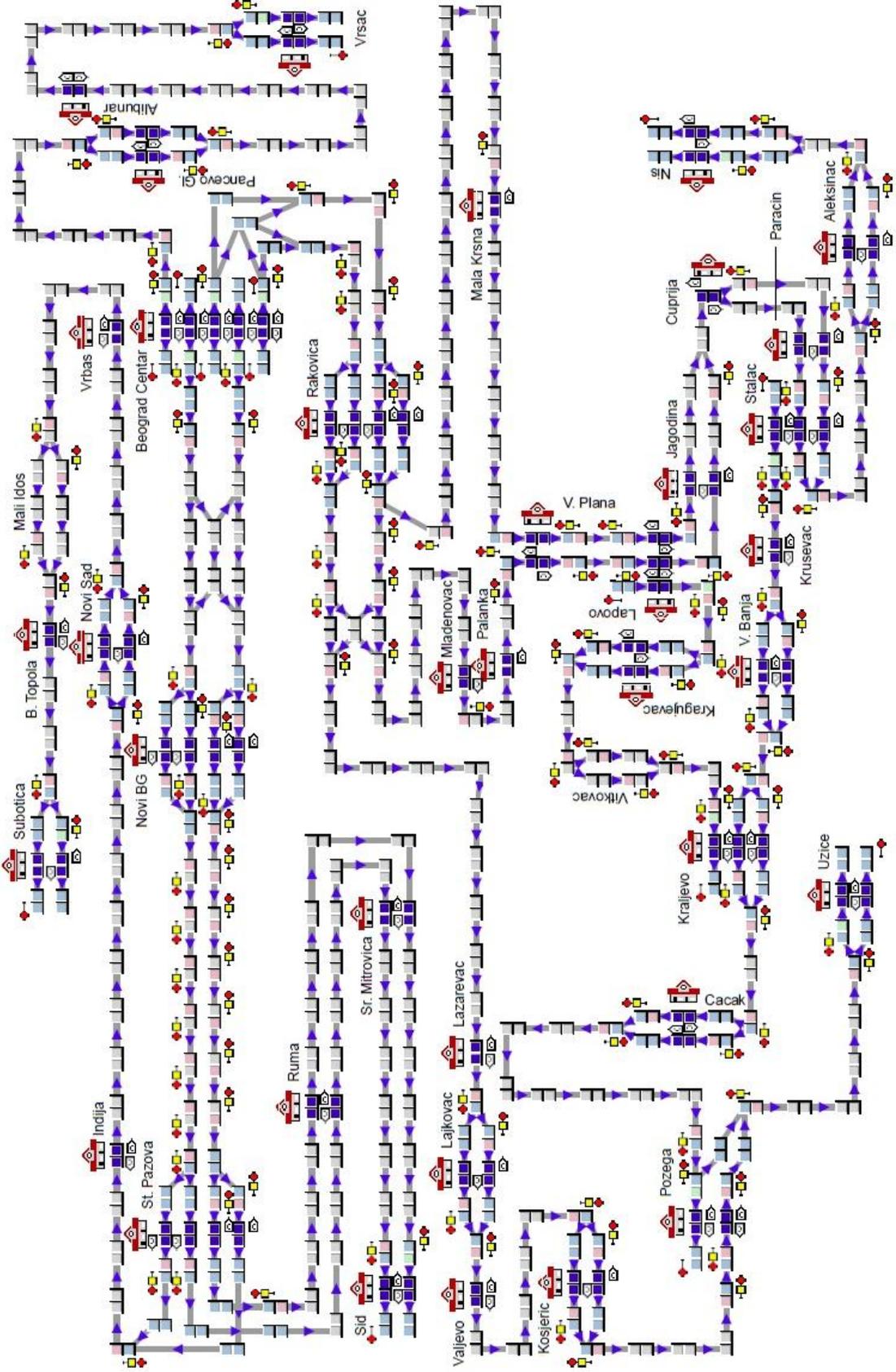


Abbildung 30: OpenTrack Gleistopologie des untersuchten Schienennetzes

Grafische Fahrpläne

An dieser Stelle werden die grafischen Fahrpläne der betrachteten Linien jeweils im Zeitabschnitt von 12:00 bis 16:00 gezeigt. Dies ist ausreichend, um das Muster des Zwei-Stunden-Taktes erkennen zu können. Wie in Abbildung 29 sind die theoretischen Fahrzeiten, die unabhängig von der Streckengeschwindigkeit sind, schwarz hinterlegt, die realen (gemäß Simulation) werden lila dargestellt. Eingleisige Abschnitte sind auch in diesen Abbildungen durch die hellgraue Unterlegung zu erkennen.

Beograd Centar - Subotica

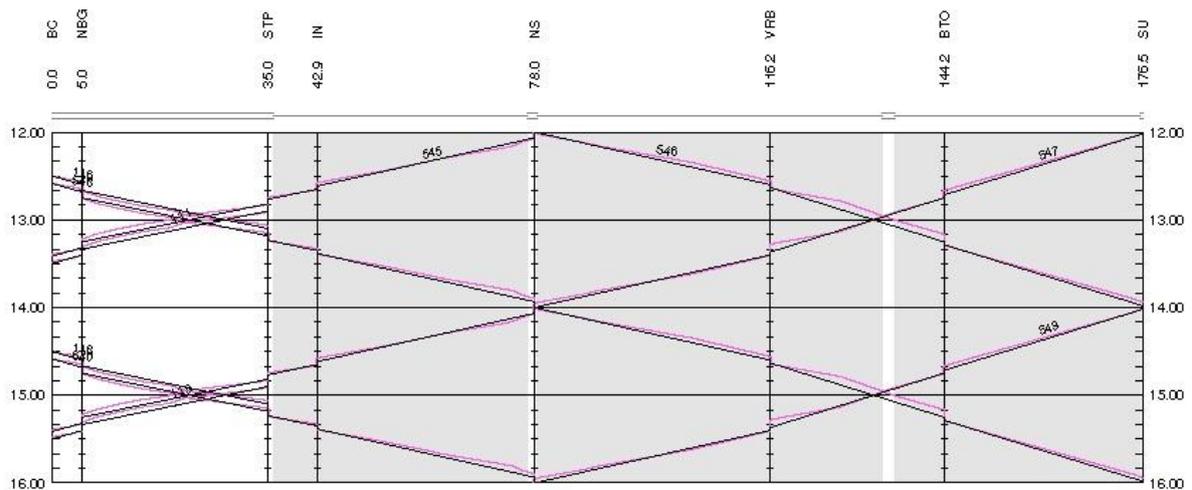


Abbildung 31: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Subotica

Beograd Centar - Sid

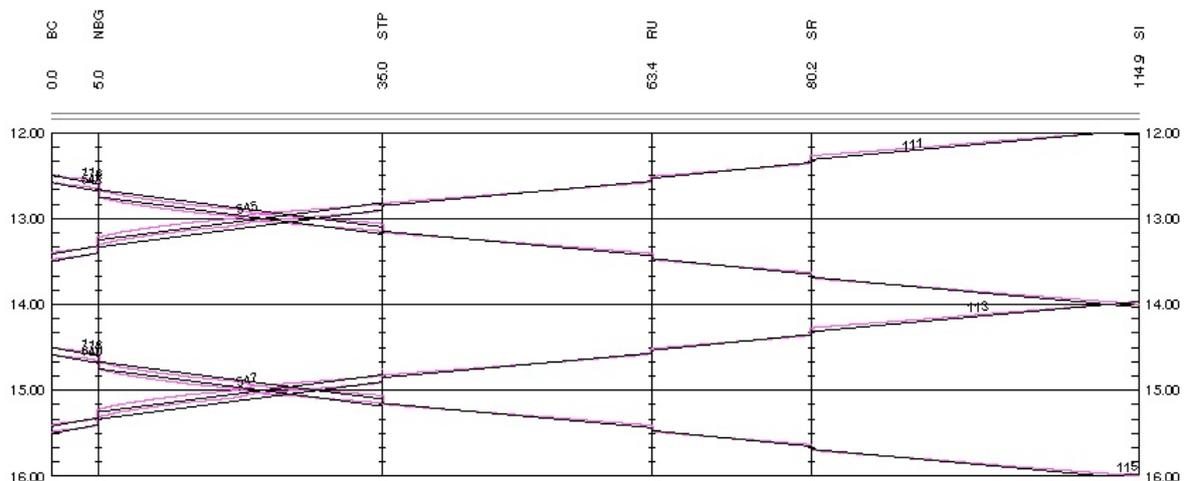


Abbildung 32: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Šid

Beograd Centar - Vrsac

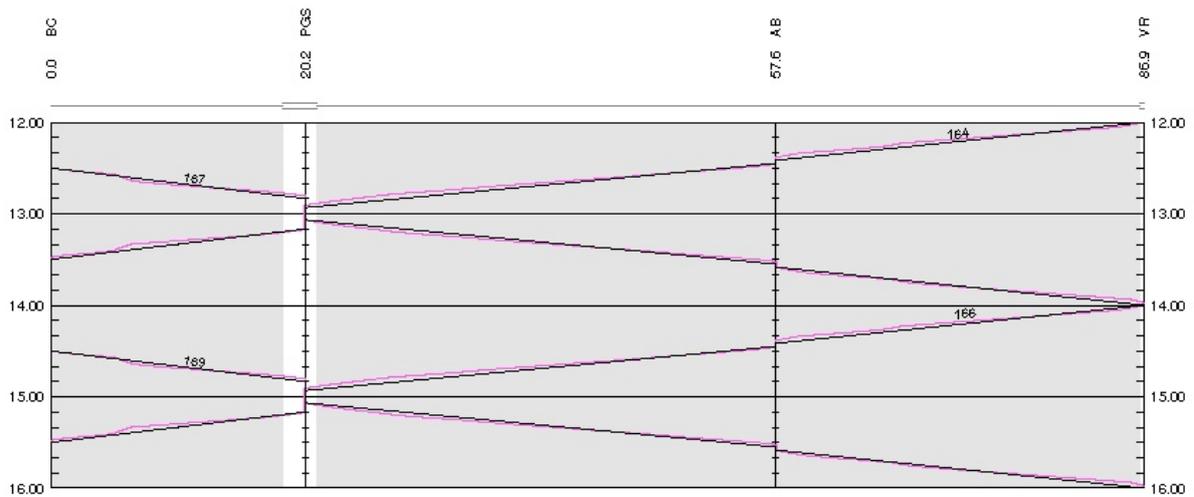


Abbildung 35: Grafischer Fahrplan der Strecke Beograd - Vrsac

Stalac - Uzice

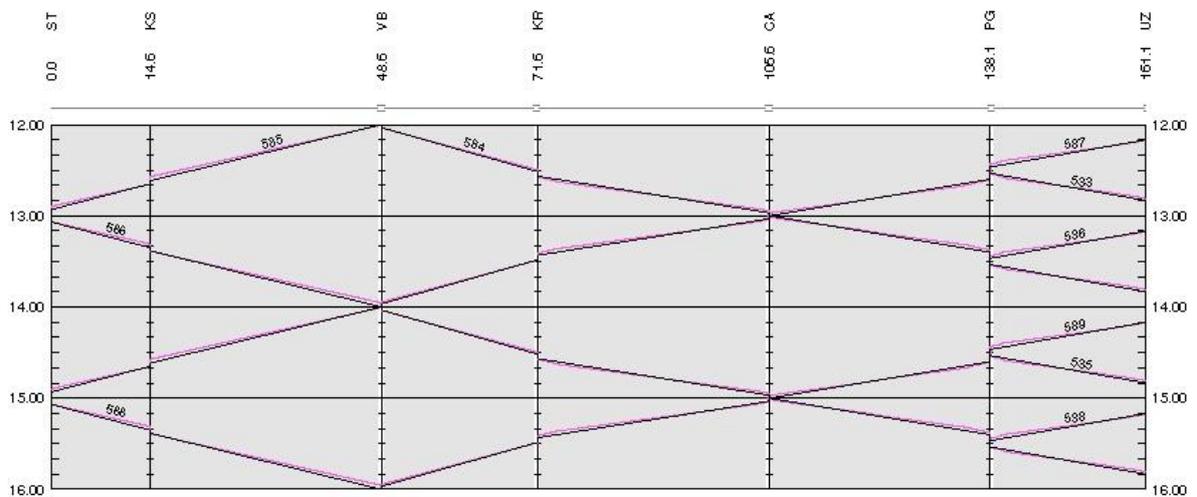


Abbildung 36: Grafischer Fahrplan der Strecke Stalac - Uzice

Die Strecke Lapovo – Kraljevo mittels eines grafischen Fahrplanes darzustellen erscheint obsolet, denn bedingt durch die großen Fahrzeitreserven und nur einen berücksichtigten Unterwegshalt in Kragujevac sind die Ergebnisse nicht aussagekräftig. Wie aber in Kapitel 5.5 erläutert wurde, wären bis zu sieben zusätzliche Halte mit der gewählten Fahrzeit möglich, deren Lage aber nicht weiter untersucht wurde.

Weitere Diagramme

Die folgenden Abbildungen zeigen als Beispiel mögliche Auswertungen für den Zuglauf IC 591 von Beograd nach Niš.

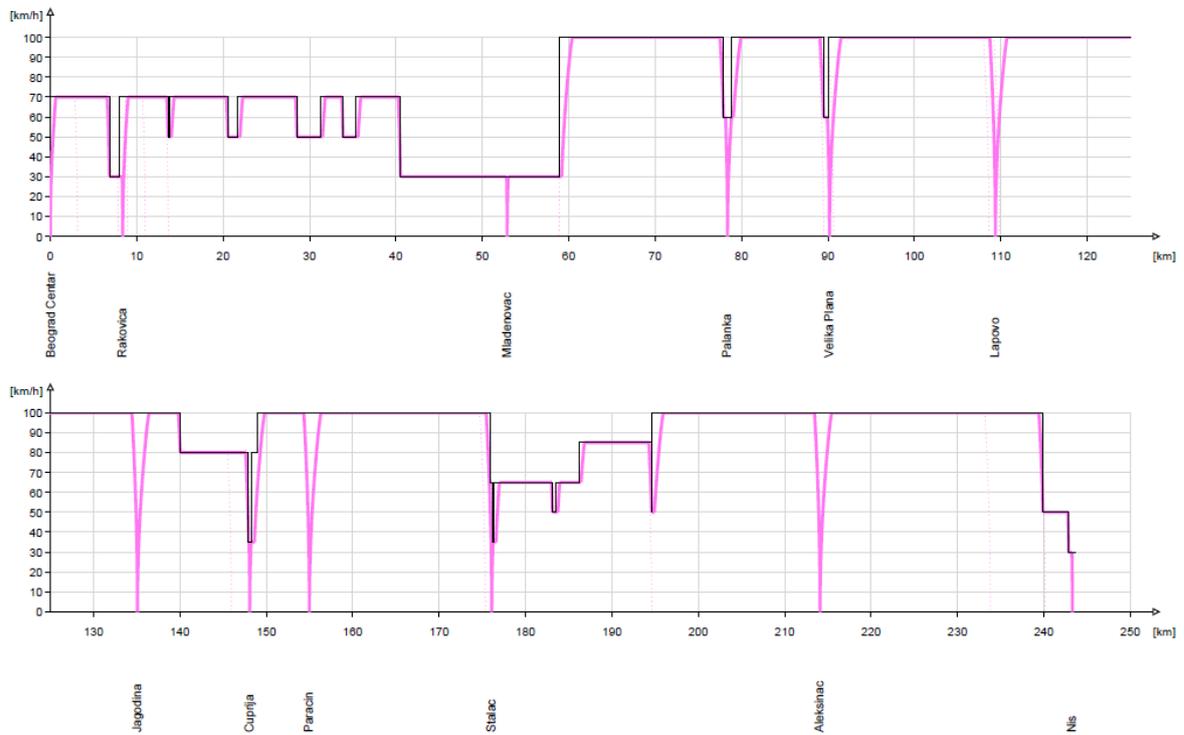


Abbildung 37: Zulässige und tatsächliche Geschwindigkeiten des IC 591 im Laufweg Beograd - Niš

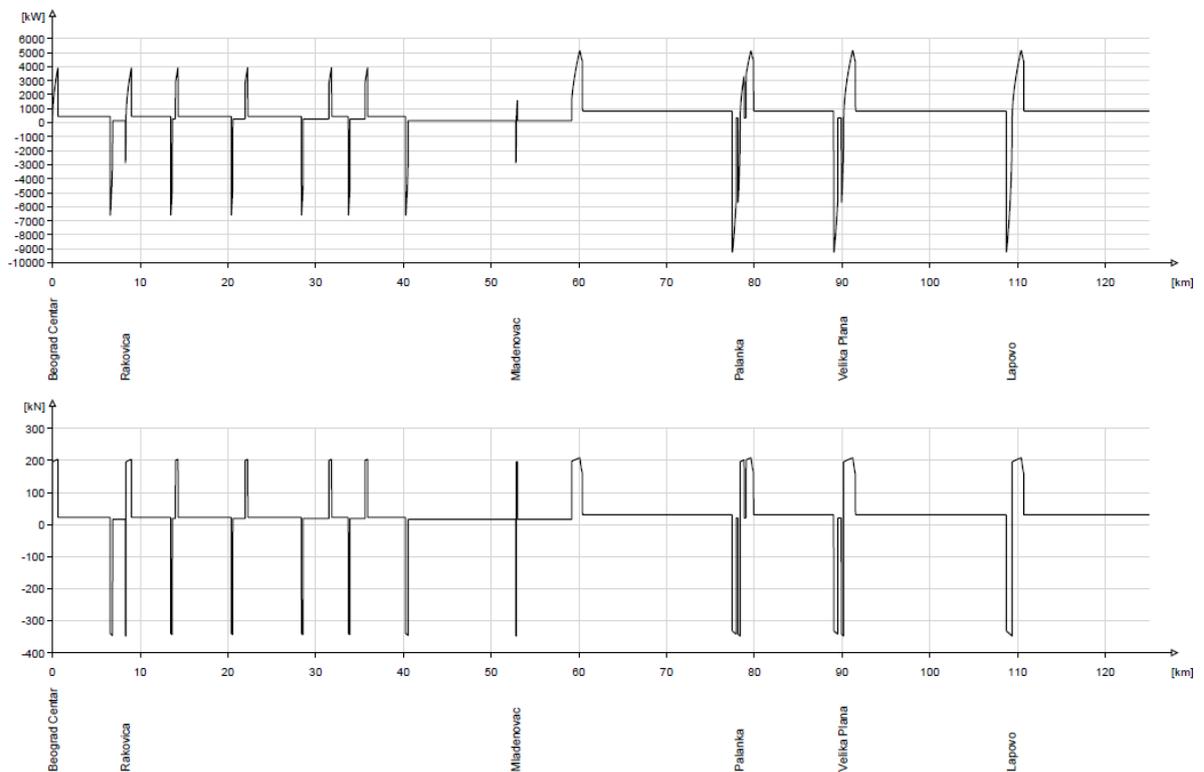


Abbildung 38: Diagramme für Antriebsleistung und Zugkraft des IC 591 im Laufweg Beograd - Niš

Technische Daten der eingesetzten Triebfahrzeuge

Folgend eine Auflistung der technischen Daten aller für die Betriebssimulation herangezogenen Lokomotiven und Triebwagen. Sämtliche hier angeführten Werte sind aus (55), (58) und (61) entnommen, die Fotografien der Züge sind zur Gänze eigene Werke.

Elektrische Lokomotive der Reihe 441.7

Baujahr	ab 1981
Achsanordnung	Bo' Bo'
Dauerleistung	3860 kW
Stundenleistung	4080 kW
Zugkraft	236,5 kN
Höchstgeschwindigkeit	140 km/h
Länge über Puffer	15,47 m
Dienstgewicht	82 t
Stromsystem	25 kV 50 Hz



Abbildung 39: ŽS 441 708, B 1120, 14.7.2009, Novi Sad

Elektrische Lokomotive der Reihe 444

Modernisierungsjahr	ab 2004
Achsanordnung	Bo' Bo'
Dauerleistung	3860 kW
Stundenleistung	4080 kW
Zugkraft	272 kN
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Länge über Puffer	15,47 m
Dienstgewicht	80 t
Stromsystem	25 kV 50 Hz



Abbildung 40: ŽS 444 019, B 418, 8.10.2009, Beograd

Elektrische Lokomotive der Reihe 461

Baujahr	ab 1972
Achsanordnung	Co' Co'
Dauerleistung	5100 kW
Zugkraft	258 kN
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Länge über Puffer	20 m
Dienstgewicht	120 t
Stromsystem	25 kV 50 Hz



Abbildung 41: ŽS 461 130, B 434, 6.7.2009, Beograd

Dieselelektrische Lokomotive der Reihe 661

Baujahr	ab 1960
Achsanordnung	Co' Co'
Dauerleistung	1454 kW
Zugkraft	220 kN
Höchstgeschwindigkeit	124 km/h
Länge über Puffer	18,49 m
Dienstgewicht	105 t



Abbildung 42: ŽS 661 118, B 360, 24.10.2009, Beograd

Zweiteiliger Dieseltriebwagen der Reihe 712

Baujahr	ab 1980
Achsanordnung	B' B' + 2' 2'
Dauerleistung	412 kW
Zugkraft	53 kN
Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Länge incl. Beiwagen	44,2 m
Dienstgewicht	84 t
Sitzplätze (gesamt)	144



Abbildung 43: ŽS 712 209, P 5431, 12.7.2009, Novi Sad