

Analysis of passenger rail supply for the case of Slovenia from 1975 to 2015

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Die Analyse des Personenverkehrsangebotes im ÖV am Beispiel Slowenien 1975 – 2015

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Stefan Christian Alexander Hudak

Matr.Nr.: 00615810

unter der Anleitung von

Univ.-Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Josef Michael Schopf**

Dipl.-Ing. **Tadej Brezina**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien
Gußhausstraße 30/230-1, A-1040 Wien

sowie

Dipl.-Ing. **Johannes Kehrer**

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/230-2, A-1040 Wien

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode zur Analyse des Fahrplanangebots im öffentlichen Verkehr entwickelt und am Beispiel des Schienenpersonenverkehrsangebotes in Slowenien entlang der Zeitreihe von 1975 bis 2015 angewendet. Dabei baut die Analyse ausschließlich auf die in den Fahrplänen enthaltene Datengrundlage und untersucht die Zeitreihe anhand der punktuellen Angebotsauswertung von zehn Fahrplanjahren. Zugleich findet eine räumliche Eingrenzung des Untersuchungsgebietes auf die Hauptstreckenabschnitte zwischen Ljubljana, Maribor und Zagreb statt.

Die Auswertungsperspektive folgt dem sich den Fahrgästen darbietenden Angebot an Direktverbindungen entlang aller Quell-Ziel-Relationen im Untersuchungsraum. Dabei wird das Fahrplanangebot über eine multivariate Analyse mit zwei Auswertungsstufen charakterisiert. In einem ersten Schritt wird mit einer Clusteranalyse nach dem K-Means-Verfahren eine Gruppierung der OD-Relationen anhand der Ähnlichkeit ihrer Angebotseigenschaften betreffend die Zugfahrten pro Tag, die taktnahen Zugfahrten pro Tag sowie die Regelmäßigkeit der Reisezeit vorgenommen. Ergänzend dazu werden in einem zweiten Auswertungsschritt sechs exemplarische Relationen mit einem höheren Detaillierungsgrad untersucht. Hierbei fließen zusätzlich Reisegeschwindigkeiten, Zugfolgezeiten sowie die Zeitlage des Fahrtenangebotes in die Analyse ein.

Die Ergebnisse machen insgesamt eine Erhöhung des Fahrtenangebotes deutlich, wobei der überwiegende Teil der Angebotsausweitung von den 1970er bis zu den 1990er Jahren erfolgte. Im Zeitraum von 2000 bis 2015 finden – allgemein betrachtet – nur noch relativ wenige Änderungen des Gesamtangebotes statt. Im Regionalverkehr wird in den Ballungsräumen Ljubljana, Celje und Maribor ein an einem angebotsorientierten Fahrplan ausgerichtetes und sehr dichtes Beförderungsniveau entwickelt. Zugleich wird auch das Angebot entlang der Streckenabschnitte Ljubljana – Zidani Most, Maribor – Zidani Most sowie Dobova – Zidani Most erhöht, wobei das Gleisdreieck in Zidani Most eine räumliche Grenze der Angebotsniveaus von Direktverbindungen im Regionalverkehr darstellt.

Bei den Städteverbindungen wird deutlich, dass dem grenzüberschreitenden Angebot von/nach Zagreb keine Priorität zukommt. Während zwischen Zagreb und Maribor entlang der gesamten Zeitreihe niedrige einstellige Zugzahlen verkehren, findet die Angebotsreduktion zwischen Ljubljana und Zagreb zeitlich parallel zur Unabhängigkeit Sloweniens statt. Die innerstaatliche Städteverbindung zwischen Ljubljana und Maribor wurde dagegen im Laufe der Zeitreihe zunächst zu einem angebotsorientierten Taktfahrplan ausgebaut, bevor ab dem Jahr 2000 eine Verringerung des Angebotes mit einer erneuten Tendenz zu einer bedarfsorientierten Fahrplangestaltung erkennbar wird.

Abstract

In this thesis, a method for the analysis and characterization of the timetable offer in public transport is developed and applied to the example of Slovenia's rail passenger transport services along the time series from 1975 to 2015. Based exclusively on the timetable data along the main lines between Ljubljana, Maribor and Zagreb, the time series is examined through the punctual evaluation of ten timetable years.

The analysis follows a passenger perspective and focuses on direct train connections along every origin-destination (O-D) relation within the area of interest. The timetable offer is characterized by a multivariate analysis with two levels of detail. In a first step, a cluster analysis based on the k-means algorithm is used to group the O-D relations depending on the similarity of their overall timetable characteristics. In this step, the number of trains per day, the regularity of the timetable as well as the regularity of the travel time are the indicators considered. In a second step, six exemplary relations with a higher level of detail are examined, where travel speeds, train headways and the timeframe of the trip offer are included in the analysis.

The results show an overall increase of the quality of the rail transport supply. The greatest proportion of this expansion took place between the 1970s and 1990s, while in the period from 2000 to 2015 only relatively few changes could be identified. In regional traffic, a very dense offer was developed within the wider urban areas of Ljubljana, Celje and Maribor. At the same time, the train numbers also increased along the Ljubljana – Zidani Most, Maribor – Zidani Most and Dobova – Zidani Most sections of the track. However, the rail triangle in Zidani Most sets a territorial limit to the supply levels of direct connections of regional trains.

Regarding the inter-city connections, it becomes clear that a direct cross-border link to / from Zagreb is not prioritized by the timetable offer. While Zagreb and Maribor have low train numbers along the entire time series, their reduction between Ljubljana and Zagreb takes place in parallel to Slovenia's independence. During the time series, the inter-city connection between Ljubljana and Maribor was initially expanded to a regular and supply-oriented interval timetable, before a slight reduction in train numbers renewed a tendency towards demand-oriented timetable planning from the year 2000 onwards.

Danksagung

Mit dieser Arbeit schlieÙe ich das Studium des Bauingenieurwesens an der TU Wien ab. An dieser Stelle möchte ich mich daher bei jenen Menschen bedanken, die mich in den vergangenen Jahren bei dem und rund um das Studium unterstützt sowie zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Univ.Prof.i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Michael Schopf, der sich trotz seines verdienten Ruhestandes des Themas angenommen hat. Ebenfalls bedanke ich mich bei Dipl.-Ing. Tadej Brezina und Dipl.-Ing. Johannes Kehrer, die mit ihrem ideenreichen, detaillierten, kritischen und konstruktiven Feedback eine sehr engagierte Betreuung sichergestellt haben.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei all jenen Studienkolleginnen und Studienkollegen, mit denen ich verschiedene Abschnitte des Studiums gemeinsam bestreiten durfte. Gegenseitige Motivation, unterschiedliche Talente und Herangehensweisen sowie die richtige Prise Humor waren ein wesentlicher Teil davon, das Studium zu absolvieren und dabei sowohl Perspektiven als auch Charakter zu formen.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei Familie und Freunden bedanken, die mich – auch fernab von Wien – in den vergangenen Jahren unterstützt und dabei immer wieder einen Gegenpol zum Studienalltag dargestellt haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	X
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziele und Grenzen der Arbeit	1
1.3 Forschungsfragen	2
1.4 Herangehensweise und Methodik	3
1.5 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Beschreibung des Untersuchungsraumes	5
2.1 Urbane Zentren und Ballungsräume.....	5
2.2 Das slowenische Eisenbahnnetz	6
2.3 Europäische Verkehrskorridore.....	8
2.4 Räumliche Eingrenzung	9
2.5 Zusammenfassung und Motivation	9
3 Theoretische Grundlagen.....	10
3.1 Qualität im öffentlichen Personenverkehr.....	10
3.2 Fahrplan.....	12
3.2.1 Fahrzeit.....	12
3.2.2 Haltezeit	12
3.2.3 Fahrplangestaltung	12
3.2.4 Fahrplananalyse.....	13
3.3 Regelmäßigkeit.....	16
3.4 Clusteranalyse	19
3.4.1 Überblick.....	19
3.4.2 K-Means-Verfahren	20
3.4.2.1 Algorithmus	20
3.4.2.2 Datentransformation	21
3.4.2.3 Clustervalidierung.....	22
4 Daten und Methoden	26
4.1 Zeitliche Abgrenzung	26

4.2	Digitalisierung	26
4.3	Auswertungskriterien	27
4.3.1	Zugfahrten pro Tag (n_Z)	28
4.3.2	Taktnahe Zugfahrten pro Tag (n_{TN})	29
4.3.3	Regelmäßigkeit der Reisezeit (ρ_{RZ})	31
4.3.4	Reisegeschwindigkeiten (v_R)	32
4.3.5	Zugfolgezeiten (t_{ZF}).....	32
4.3.6	Zeitlage des Angebots	33
4.4	Allgemeine Stichprobenbeschreibung.....	33
4.5	Fahrplananalyse mit höherem Aggregierungsgrad.....	35
4.5.1	Ziel der Auswertung.....	35
4.5.2	Clusteranalyse	35
4.5.2.1	Eingangswerte.....	35
4.5.2.2	Clustervalidierung.....	37
4.6	Fahrplananalyse mit höherem Detaillierungsgrad.....	40
4.7	Symbolerläuterung	40
5	Ergebnisse der Fahrplananalyse mit höherem Aggregierungsgrad	41
5.1	Allgemeine Erkenntnisse.....	41
5.1.1	Strecke Ljubljana – Maribor	41
5.1.2	Strecke Ljubljana – Zagreb	45
5.1.3	Strecke Maribor – Zagreb	47
5.2	Ergebnisse der Clusteranalyse	49
5.2.1	Clustereigenschaften	49
5.2.2	Angebotsentwicklung entlang der Zeitreihe	53
5.2.2.1	Allgemeine Betrachtung	53
5.2.2.2	Streckenabschnittsbetrachtung.....	59
6	Ergebnisse der Fahrplananalyse mit höherem Detaillierungsgrad	63
6.1	Ljubljana – Maribor.....	64
6.1.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	64
6.1.2	Reisegeschwindigkeiten.....	66
6.1.3	Zugfolgezeiten.....	66
6.1.4	Zeitlage des Angebots	68
6.2	Ljubljana – Zidani Most	70

6.2.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	70
6.2.2	Reisegeschwindigkeiten.....	71
6.2.3	Zugfolgezeiten.....	72
6.2.4	Zeitlage des Angebots	73
6.3	Ljubljana – Kresnice	75
6.3.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	75
6.3.2	Reisegeschwindigkeiten.....	77
6.3.3	Zugfolgezeiten.....	77
6.3.4	Zeitlage des Angebots	78
6.4	Ljubljana – Zagreb	80
6.4.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	80
6.4.2	Reisegeschwindigkeiten.....	81
6.4.3	Zugfolgezeiten.....	81
6.4.4	Zeitlage des Angebots	82
6.5	Maribor – Zagreb.....	84
6.5.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	84
6.5.2	Reisegeschwindigkeiten.....	85
6.5.3	Zugfolgezeiten.....	86
6.5.4	Zeitlage des Angebots	86
6.6	Maribor – Celje	89
6.6.1	Angebotsentwicklung aus der Cluster-Perspektive.....	89
6.6.2	Reisegeschwindigkeiten.....	90
6.6.3	Zugfolgezeiten.....	91
6.6.4	Zeitlage des Angebots	92
6.7	Zusammenfassung der Kennwerte	94
7	Diskussion	97
7.1	Methodische Vorgehensweise.....	97
7.2	Entwicklung des Fahrplanangebotes in Slowenien	99
7.3	Ausblick.....	102
8	Zusammenfassung	104
9	Literaturverzeichnis	107
10	Anhang.....	111

10.1	Slowenisches Eisenbahnnetz mit allen Haltepunkten	111
10.2	Beispiel für die Ermittlung der taktnahen Zugfahrten pro Tag (n_{TN}).....	112
10.3	Matlab Code	116
10.4	Alternative Clusterlösung	117
10.5	OD-Matrizen	118
10.5.1	Entfernungsmatrizen	118
10.5.2	Clusteranalyse	120
10.5.2.1	Ljubljana – Maribor	120
10.5.2.2	Ljubljana – Zagreb	125
10.5.2.3	Maribor – Zagreb	130
10.5.3	Mittlere Reisegeschwindigkeiten	135
10.5.3.1	Ljubljana – Maribor	135
10.5.3.2	Ljubljana – Zagreb	140
10.5.3.3	Maribor – Zagreb	145
10.6	Streckenbedienung ab Zidani Most	150