



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fachbereich 13
Bauingenieurwesen
und Geodäsie

Institut für Verkehr

Fachgebiet
Bahnsysteme
und Bahntechnik

Bemessung von Begegnungsabschnitten auf eingleisigen S-Bahn-Strecken

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung
des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Frank Lademann

aus Frankfurt

D 17

Darmstadt 2001

Referent: Prof. Dr.-Ing. Edmund Mühlhans

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze

Tag der Einreichung: 02.05.2001

Tag der mündlichen Prüfung: 17.08.2001

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Bahnsysteme und Bahntechnik der Technischen Universität Darmstadt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Edmund Mühlhans. Er ermöglichte mir die Durchführung dieser Arbeit an seinem Fachgebiet und förderte sie durch seine konstruktiven Anregungen. Bei den aufgetretenen Fragen und Problemen hat er mich jederzeit unterstützt und ich bin ihm für unsere offenen Diskussionen und seine Hilfsbereitschaft sehr dankbar.

Herrn Professor Dr.-Ing. Manfred Boltze danke ich für die Übernahme des Korreferats, für das Interesse an meiner Arbeit und seine wertvollen Anregungen, die die Arbeit positiv abgerundet haben.

Den Mitarbeitern der Deutschen Bahn AG möchte ich für die stete Hilfsbereitschaft bei der Beschaffung von Planunterlagen oder wichtiger Informationen bezüglich der untersuchten Strecken danken. Besonders erwähnen möchte ich die Gespräche mit Herrn Wolfgang Eilers, aus denen die Idee für diese Arbeit entstand.

Allen meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Verkehr möchte ich für die freundschaftliche Zusammenarbeit und das angenehme Arbeitsklima danken. Insbesondere möchte ich Herrn Dr.-Ing. Udo Hermann für die wertvollen Hinweise und Herrn Alois Bott für die Hilfe bei der graphischen Gestaltung danken. Außerdem möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Jens Moßmann nennen, der mir ein wertvoller Diskussionspartner während und nach der Arbeit war.

Besonders danke ich meinen Eltern, die mich jederzeit unterstützt haben und ohne die diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Zum Schluß möchte ich meiner Frau Monika besonders danken für das Verständnis und die Geduld, die sie während der Bearbeitung aufbrachte sowie für ihre wertvollen Anregungen insbesondere bei der Gestaltung der Arbeit und des Vortrags.

Kronberg, im August 2001

Frank Lademann

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Problemdefinition und Aufgabenstellung	1
2	Vorgehensweise und Untersuchungsmethodik	2
3	Betriebliche und bauliche Randbedingungen	7
3.1	Betriebliche Randbedingungen	7
3.2	Zugbeeinflussungssysteme	13
3.3	Bemessung von Begegnungsabschnitten und Kreuzungsbahnhöfen	24
4	Aufbereitung der Daten der Rechnerunterstützten Zugüberwachung Frankfurt/ M.	34
4.1	Allgemeines zur Datenaufbereitung	34
4.2	Lesen der Daten	35
4.3	Bearbeiten der Daten	36
4.4	Umspeichern der Daten	37
4.5	Sortieren der Daten	37
4.6	Löschen nicht auswertbarer Betriebsstellen	38
4.7	Korrigieren der Daten	38
4.8	Überprüfung der Datenkorrektur	46
4.9	Löschen von Zugfahrten mit Datenfehlern	47
5	Auswertung der Daten der Rechnerunterstützten Zugüberwachung Frankfurt/ M.	52
5.1	Haltezeiten	52
5.2	Fahrzeitabweichungen	64
5.3	Mindestwendezeiten	73
5.4	Abfahrtsverspätungen	80
5.5	Schäden am Zug	84

6	Programmentwicklung und -ablauf	86
6.1	Allgemeines	86
6.2	Dateistruktur	89
6.3	Programmstruktur	98
6.4	Fahrzeitrechnung	100
6.5	Vorbereitung der Simulation	104
6.6	Durchführung der Simulation	116
6.7	Programmbedienung	124
7	Simulation des Betriebs auf einer bestehenden Strecke	126
7.1	Beschreibung der Strecke und des Betriebsablaufs	126
7.2	Mögliche Ausbauvarianten	127
7.3	Durchführung der Simulation	133
7.4	Simulationsergebnisse	140
7.5	Empfehlungen für die Strecken- und Fahrplangestaltung von eingleisigen S-Bahn-Strecken	163
8	Zusammenfassung und Ausblick	169
	Literaturverzeichnis	173
	Abbildungsverzeichnis	180
	Tabellenverzeichnis	185

Anlagenverzeichnis

	Seite	
1	Übersichtsplan S-Bahn Rhein-Main	186
2	Streckenübersicht im Bereich der S-Bahn Rhein-Main	187
3	Programmschritte der RZü-Datenaufbereitung	188
4	Herleitung der allgemeinen Verteilungsfunktion	189
5	Einbindung von PZB 90 in das Simulationsprogramm	190
6	Programmbedienung	
6.1	Hauptmenü	191
6.2	Dateiverwaltung	191
6.3	Auswahlformulare	191
6.4	Dateneingabe	192
6.5	Ausgabereports	195
6.6	Graphische Ausgabe	196
6.7	Vorbereitung und Durchführung von Fahrzeitberechnung und Simulation	199
6.8	Einstellung der Optionen	200
7	Übersichtsplan der simulierten Varianten	201
8	Bildfahrplan Nullvariante	202
9	Bildfahrplan Ausbauvarianten	203
10	Ergebnistabellen	204

11	Graphische Darstellung der Ergebnisse	
11.1	Variante Null	208
11.2	Variante A	210
11.3	Variante B	212
11.4	Variante Z	214
11.5	Variante BZ	216
11.6	Variante BWZ	218
11.7	Variante BZX	220
11.8	Variante BWZX	222
11.9	Variante D	224
11.10	Variante DB	226
11.11	Variante DZ	228
11.12	Variante DBZ	230
11.13	Variante DBWZ	232
11.14	Variante DBZX	234
11.15	Variante X	236
12	Auswertung der Ergebnisse	
12.1	Vergleich der Grundvarianten	238
12.2	Auswirkungen kurzer Verlängerungen der Begegnungsabschnitte auf die Betriebsqualität	243
12.3	Auswirkungen kurzer eingleisiger Abschnitte auf die Betriebsqualität	247
12.4	Auswirkungen der Wendezeiten auf die Betriebsqualität	251
12.5	Auswirkungen des Zugbeeinflussungssystems auf die Betriebsqualität	252
12.6	Einfluß der Haltezeitreserven auf das Verspätungsniveau	253
12.7	Einfluß von Langsamfahrstellen auf die Betriebsqualität	255
12.8	Vergleich der Ausbauvarianten mit der Nullvariante	256

Kurzfassung

Aus wirtschaftlichen Gründen werden reine S-Bahnstrecken im Außenbereich der Ballungsräume häufig nur eingleisig gebaut, wobei die Zugkreuzungen in Begegnungsabschnitten erfolgen. Ein Nachteil eingleisiger Strecken ist jedoch die Verspätungsübertragung auf die Gegenrichtung. Daher ist es hier besonders wichtig, Infrastruktur, Fahrplangestaltung und Fahrzeugeinsatz beispielsweise mit Hilfe von Betriebssimulationen sorgfältig aufeinander abzustimmen. Für diesen Zweck wurde in dieser Arbeit ein für die Simulation von eingleisigen S-Bahn-Strecken optimiertes Rechnerprogramm entwickelt, mit dem die Auswirkungen der vorgesehenen Maßnahmen abgeschätzt und schnell verschiedene Varianten durchgespielt werden können.

Zur Ermittlung von Eingabedaten und Verteilungsfunktionen zur Implementierung in das Simulationsprogramm wurden Daten der Rechnerunterstützten Zugüberwachung (RZü) Frankfurt/M. aufbereitet und ausgewertet. Die Aufbereitung war erforderlich, da die Datengenauigkeit und -integrität zwar für den eigentlichen Zweck der Zugüberwachung, nicht jedoch für die Ansprüche einer Simulation ausreichten. Anschließend wurden mit einer breiten Datengrundlage von ca. 155.000 Zugläufen Fahrzeiten, Haltezeiten, Wendezeiten, Abfahrtsverspätungen und Häufigkeiten von Zugschäden in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie z.B. der Verkehrszeit und der Lastrichtung untersucht.

Zur Erstellung des Simulationsprogramms wurde das Programmiersystem DELPHI verwendet. Für den Programmablauf wurde ein Verfahren entwickelt, das eine hohe Rechengeschwindigkeit bei gleichzeitig hoher Rechengenauigkeit gewährleistet: Vor der Simulation wird mit Hilfe einer Fahrzeitrechnung die unbehinderte Fahrzeit berechnet und der Fahrplan erstellt. Während der Simulation wird die Fahrzeit nur noch stochastisch variiert und im Behinderungsfall durch eine zusätzliche, vor der Simulation berechnete und in einer Datei abgelegte Fahrzeit ergänzt.

Zur Simulation einer bestehenden Strecke und zum Ableiten allgemeiner Empfehlungen wurde die S-Bahn-Strecke von Frankfurt nach Darmstadt ausgewählt. Diese ist abschnittsweise eingleisig und erlaubt damit zwischen Langen und Darmstadt nur einen 30-Minuten-Takt. Für einen mittelfristig geplanten 15-Minuten-Takt wären Infrastrukturausbauten erforderlich, wobei sich nun die Frage stellte, wie sich die möglichen Ausbauten auf die Betriebsqualität auswirken. Die Spanne der denkbaren Maßnahmen reicht dabei von einem zusätzlichen Bahnsteiggleis in Darmstadt-Arheilgen bis zu einem völligen zweigleisigen Ausbau der Strecke. Neben der getrennten Auswertung jeder Variante wurden die Varianten auch miteinander verglichen, um ausgewählte Fragestellungen zu beantworten.

Abstract

For economical reasons, rapid train lines in the outskirts of areas of high population are often constructed only as single-track lines, with train crossing taking place at intersections. Consequently, any time delay affects trains travelling in both directions. It is therefore very important to carefully adjust the infrastructure, layout of train schedules and distribution of carriages by using e.g. operation simulation programs. For this purpose, a program was developed which is suitable for computer simulation of single track lines in order to evaluate the effectiveness of certain measures and for fast simulation of different possibilities.

In order to establish input data and distribution functions to be implemented into the simulation program, data of the computer-aided train-supervision (RZü) Frankfurt/Main were taken and evaluated. Adaptation of the data was necessary, because although the accuracy and integrity of data was sufficient for train-supervision, it was not for simulation purposes. Afterwards, based on a substantial number of data taken from almost 155,000 train movements, travelling times, stopping times, reversing times, delays at departure and frequency of technical faults in dependence of numerous factors as e.g. the traffic-time and load direction were investigated.

For developing the simulation program the program-language DELPHI has been used. For the program sequence a procedure was developed, which guarantees a high calculation-speed with a high accuracy of calculation. Before the simulation is started, the unrestrained travelling time was calculated and the time schedule designed by using a travelling time calculation. During the simulation process, the travelling time is only varied stochastically and, in case of train delays, complemented by an additional travelling time which was calculated and stored before the simulation.

For simulation of an existing line and for derivation of common recommendations the line from Frankfurt/Main to Darmstadt was selected. It is in some sections a single-track line and allows only a 30-minutes-cycle between Langen and Darmstadt. For a 15-minutes-cycle which is planned in the near future, changes to the infrastructure would be necessary. The question was how these changes would affect the operation quality. Possible measures vary from an additional track in the Darmstadt-Arheilgen station to a complete double-track extension of the whole line. In addition to a separate evaluation of each individual possibility, all possibilities were also compared with one another in order to answer various questions.