

4 Aufbereitung der Daten der Rechnerunterstützten Zugüberwachung Frankfurt/ M.

4.1 Allgemeines zur Datenaufbereitung

Für die Simulation des Betriebs auf einer eingleisigen S-Bahnstrecke sind die Daten des planmäßigen Betriebsablaufs der vorhandenen oder geplanten Infrastruktur sowie dem vorgesehenen Fahrplan zu entnehmen. Darüber hinaus werden aber realistische Angaben über die durch technische Störungen, durch verkehrliche Ursachen oder andere Einflüsse bewirkten Fahrplanabweichungen benötigt. Um diesbezügliche praxisnahe Eingabedaten für das Simulationsprogramm zu gewinnen, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Daten der Rechnerunterstützten Zugüberwachung Ffm (RZü-Daten) aufbereitet und ausgewertet. Die RZü wird von der DB AG zur Zuglaufverfolgung und Betriebsleitung eingesetzt. Dabei werden bei jeder Zugvorbeifahrt am Signal die Ist-Zeiten zu einer zentralen Datenerfassung gesendet und dort gemeinsam mit Soll-Zeiten, Zugnummern sowie sonstiger Daten abgespeichert. Die wesentlichen in einem RZü-Datensatz enthaltenen Informationen zeigt folgende Tabelle:

Bezeichnung		Format
Zugnummer	Zugnummer	#####
	Zuggattung	##.#
Betriebsstelle	Betriebsstelle	aaaaa
Ankunftszeiten	Std., Min. und Sek. der Sollankunft*	##:##:##
	Std., Min. und Sek. der Istankunft	##:##:##
	Ankunftsinterpolation (in Sekunden)	####
	Verspätung in abgeschnittenen Minutenwerten	####
Abfahrtszeiten	Std., Min. und Sek. der Sollabfahrt*	##:##:##
	Std., Min. und Sek. der Istabfahrt	##:##:##
	Abfahrtsinterpolation (in Sekunden)	####
	Verspätung in abgeschnittenen Minutenwerten	####

* Genauigkeit der Sollwerte: 1/10-Min.

Tab. 4.1: RZü-Datenstruktur (nach [27])

Diese Werte können ausgelesen und ausgewertet werden. Eine unmittelbare Eingabe in das Simulationsprogramm ist jedoch nicht möglich, da die Datengenauigkeit und –integrität zwar für den vorgesehenen Verwendungszweck der RZü, nicht aber für die Ansprüche einer Simulation ausreichen. Daher muß eine aufwendige Datenkorrektur und –auswahl durchgeführt werden, um die Daten für das Simulationsprogramm nutzbar zu machen.

Die Zuglaufdaten der RZü werden in einem Datenbanksystem gespeichert, das keine genormte Schnittstelle zu anderen Systemen aufweist. Außerdem können durch Fehleingaben oder durch Probleme in der Datenübertragung Fehler auftreten, die später in der Auswertung zu unlogischen Ergebnissen führen. Aus diesem Grund war eine Aufbereitung der Daten erforderlich, die in 2 Schritten erfolgte:

1. Überspielen, Konvertieren und Komprimieren der Originaldaten.
2. Bearbeiten, Ergänzen und Korrigieren der Daten.

Entsprechend den unterschiedlichen Arbeitsschritten und Anforderungen wurden auch verschiedene Programmiersprachen gewählt:

1. Turbo PASCAL
2. dBase bzw. DELPHI

Dieses Kapitel befaßt sich nur mit dem Arbeitsschritt 2, da auf Daten zurückgegriffen werden konnte, die im Rahmen der Dissertation von HERMANN [27] bereits bearbeitet und anschließend im Hinblick auf die Züge des hochwertigen Fernverkehrs ausgewertet wurden. Die Daten lagen im ASCII-Format vor und konnten unmittelbar mit dem Datenbankprogramm dBase (DOS) weiterbearbeitet werden. Das Programm DELPHI (Windows) kombiniert die Programmiersprache Pascal mit einer dBase-kompatiblen Datenbank.

Entsprechend den Anforderungen des Bearbeitungsschrittes wurde das passende Programm gewählt. Dabei sind die Vorteile von dBase die schnelle und zuverlässige Verarbeitung großer Datenmengen und die Möglichkeit, vorhandene Unterprogramme einzubinden. DELPHI hingegen bietet eine bedienerfreundliche Benutzeroberfläche und eine komfortable Programmiersprache. Damit ist diese Sprache optimal zur Dateneingabe geeignet, so daß sie für die Berechnung der Korrekturdaten verwendet wurde.

Im einzelnen waren folgende Bearbeitungsschritte erforderlich:

- Lesen der Daten.
- Bearbeiten der Daten.
- Umspeichern der Daten.
- Sortieren der Daten.
- Löschen nicht auswertbarer Betriebsstellen.
- Korrigieren der Daten.
- Überprüfung der Datenkorrektur.
- Löschen von Zugfahrten mit Datenfehlern.

Eine Gesamtübersicht über die einzelnen Programmschritte und die verwendeten Programme befindet sich in Anlage 3. Einige Programme, die im Rahmen der Arbeiten von BRAND [6], HERMANN [27] und KOLB [34] entwickelt wurden, waren am Institut vorhanden und mußten teilweise nur leicht abgeändert werden, andere Programme wurden vollkommen neu erstellt. Insgesamt standen die Daten von etwa 175.000 Zugläufen zur Verfügung.

4.2 Lesen der Daten

In diesem Programmschritt wurde ein am Institut vorhandenes Programm verwendet, das jedoch in einzelnen Punkten abgeändert werden mußte.

- Im ersten Arbeitsschritt wurden die Daten aus einer Datei im ASCII-Format in eine dBase-Datei kopiert. Dabei wurden jedoch in Abänderung des Originalprogramms nur S-Bahn-Datensätze übernommen.
- Danach wurden leere Felder der Ist- und Soll-Ankunftszeiten durch die jeweiligen Abfahrtszeiten aufgefüllt, da dBase ein leeres numerisches Feld

- durch Null ersetzt und dies in späteren Berechnungen zu falschen Ergebnissen führen könnte.
- Anschließend mußten die Dateien nach den Kriterien Zugnummer und Soll-Ankunftszeit geordnet werden, da in den Ursprungsdateien teilweise Datensätze in fehlerhafter Reihenfolge vorhanden waren.
 - Mit Hilfe einer Datei, die Informationen über Strecken und Betriebsstellen enthielt, wurden die Ziel-Betriebsstellen sowie die Richtungen der Strecken ergänzt.
 - In den RZü-Daten werden Zugläufe nach Mitternacht mit Zeiten ab 24:00 weitergerechnet (z.B. wird 01:00 zu 25:00 Uhr). Datumsmäßig bleiben diese Zeiten jedoch dem ersten Tag zugeordnet. Dieses wurde in diesem Berechnungsschritt korrigiert, indem das Datum von Eintragungen nach 24:00 um einen Tag erhöht wurde.
 - Aus der Differenz zwischen der Soll-Ankunftszeit an Betriebsstelle 2 und der Soll-Abfahrtszeit an Betriebsstelle 1 wurde anschließend die Fahrzeit ermittelt und in die Dateien eingetragen.
 - Als letzter Bearbeitungsschritt erfolgte die Berechnung der Abfahrts- und Ankunftsverspätungen.

Das vorhandene Programm war in erster Linie für die Aufbereitung der Daten des hochwertigen Fernverkehrs gedacht, dessen Züge an den betrachteten Betriebsstellen durchfahren. Daher wurden Fehler, die sich aus unterschiedlichen Fahrzeiten der Züge ergaben, eliminiert, indem die Fahrzeiten zwischen Ein- und Ausfahrtsignal gemittelt wurden. Dieses Verfahren ist für die Aufbereitung der S-Bahn-Durchfahrtszeiten nicht geeignet und wurde auch nicht angewendet, da S-Bahnen an nahezu allen Bahnhöfen halten. Die einzigen Ausnahmen im S-Bahn-Netz Rhein-Main sind der Betriebsbahnhof Ginnheim und die Abzweigstelle Kostheim. Aber auch hier wurde auf die Mittelung verzichtet, da zumindest außerplanmäßige Halte möglich sind und während der weiteren Bearbeitung ohnehin eine Korrektur erfolgt.

4.3 Bearbeiten der Daten

Auch das Programm zum Bearbeiten der Daten war am Institut vorhanden und wurde nahezu unverändert übernommen.

- Der Eintrag im Feld „Datum“ wurde angepaßt, falls Verspätungen oder Verfrühungen von etwa 24 Stunden auftraten, da in diesem Falle von einem fehlerhaften Datum ausgegangen werden konnte.
- Aufgrund der Einträge im Feld „Datum“ wurden die Wochentage ermittelt und eingetragen. Allgemeine Feiertage wurden als Sonntage bezeichnet.
- Die Entfernungen zwischen den einzelnen Betriebsstellen wurden aus einer separaten Streckendatei ermittelt und in die Datensätze eingetragen.

Im Unterschied zum vorhandenen Programm konnte auf eine Ermittlung der Regelzuschläge verzichtet werden, da im S-Bahn-Verkehr ein einheitlicher Fahrzeit-Zuschlag von 3 % gilt und dieser bei der späteren Auswertung der Daten problemlos berücksichtigt werden kann.

4.4 Umspeichern der Daten

Die wesentliche Aufgabe dieses Bearbeitungsschrittes besteht darin, die bisher tageweise gespeicherten Daten nach Linie und Richtung zu sortieren und entsprechend abzuspeichern.

- Als erster Schritt wurde die Strecken- und Betriebsstellenbezeichnung hinzugefügt.
- Anschließend wurden die Betriebsfahrten gelöscht, da deren pünktliche Durchführung für die vorliegende Untersuchung nicht von Bedeutung ist.
- In den Daten traten unrealistische Verspätungen von mehreren Stunden auf, was vermutlich auf eine fehlerhafte Zugnummerneingabe oder Übertragungsfehler zurückzuführen ist. In diesem Programmschritt wurden daher Zugfahrten, die Verspätungen von mehr als 60 Minuten und Verfrühungen von mehr als 10 Minuten aufwiesen, gelöscht.
- Weiterhin wurde die Liniennummer ergänzt, die anhand der Zugnummer ermittelt werden konnte. Die Zugnummer ist vierstellig, wobei eine 4 als erste Ziffer meist einen über die gesamte Linie durchgehenden Zuglauf, eine 5 hingegen einen zwischendurch beginnenden oder endenden Zuglauf bezeichnet. Die Liniennummer ist an der zweiten Ziffer zu erkennen. Die Ausnahmen betreffen die S3, bei der wegen des Streckenastes Bad Soden - Höchst besonders viele Nummern erforderlich sind, sowie die S14 und S15, die intern mit S8 und S7 bezeichnet wurden.

Linie	von..	über..	nach	Zugnummern	
S 1	Ffm Mühlberg	Flughafen	Wiesbaden	4100..4199	5100..5199
S 2	Ffm Mühlberg		Niedernhausen	4200..4299	5200..5299
S 3	Ffm Süd	Bad Soden	Höchst	4300..4399	5300..5440
S 4	Ffm Süd		Kronberg	4400..4499	5480..5499
S 5	Ffm Stresemannallee		Friedrichsdorf	4500..4599	5500..5599
S 6	Ffm Stresemannallee		Friedberg	4600..4699	5600..5699
S 14	Ffm Süd	Höchst	Wiesbaden	4800..4899	5800..5899
S 15	Ffm Hbf		Flughafen	4700..4799	5700..5799

Tab. 4.2: S-Bahn-Liniennummern RZü

- Anschließend wurden die Daten nach Richtung und Linie sortiert und in getrennten Dateien gespeichert.

4.5 Sortieren der Daten

Nach der Umspeicherung im vorigen Arbeitsschritt mußten die jetzt nach Richtung und Linie getrennten Dateien nochmals sortiert und kontrolliert werden.

- Zunächst wurden die Liniendateien nach Datum, Zugnummer und der Soll-Ankunftszeit sortiert.
- Anschließend wurden eventuell vorhandene doppelte Datensätze gelöscht.

4.6 Löschen nicht auswertbarer Betriebsstellen

Löschen der Haltepunkte ohne Signal

Die Stellwerke melden an die RZü alle Zeitpunkte, zu denen ein Signal nach Zugdurchfahrt auf Halt fällt. Andere Möglichkeiten der Zugortung, z.B. Gleiskontakte oder Freimeldeabschnitte, werden nicht genutzt. An Haltepunkten, an denen kein Signal vorhanden ist, kann daher keine Meldung erfolgen. An anderen Haltepunkten, in deren Nähe ein Blocksignal vorhanden ist, kann dieses eventuell als Einfahr- oder Ausfahrtsignal angesehen werden. Damit ist jedoch entweder nur die Ankunfts- oder die Abfahrtszeit bekannt, die Haltezeit konnte daher an diesen Betriebsstellen nicht ermittelt werden. Trotzdem wurden diese Daten ausgewertet, indem die Ankunftsverspätung gleich der Abfahrtsverspätung gesetzt wurde.

Löschen der Betriebsstellen mit ZN 60 oder mechanischer Stellwerkstechnik

Die für die Zuglaufverfolgung nötigen Daten werden durch eine mikroprozessorgesteuerte Zugnummernmeldeanlage (ZN) gesammelt. Im Bereich der S-Bahn Rhein-Main sind sowohl die ältere Bauart ZN 60 als auch die neuere Bauart ZN 800 vorhanden. Während die ZN 800 den Zug in dem Moment weitermeldet, in dem das Signal nach Durchfahrt des Zuges auf Halt fällt, meldet die ZN 60 die Fahrtstellung des Signals weiter. Da die anschließende Zeit bis zur Zugdurchfahrt stark schwanken kann, sind diese Daten zu ungenau, um daraus Verspätungen zu ermitteln. Im untersuchten Bereich betrifft dies die Betriebsstellen Ffm Hbf hoch, Galluswarte, Niederrad, Sportfeld und Griesheim. Auch an Betriebsstellen mit mechanischer Stellwerkstechnik sind die registrierten Daten für eine Verspätungsermittlung zu ungenau. Im Untersuchungsgebiet sind dies die Betriebsstellen Rüsselsheim, Rüsselsheim Opelwerke und Eddersheim. Diese Betriebsstellen wurden daher gelöscht.

4.7 Korrigieren der Daten

4.7.1 Allgemeines zur Datenkorrektur

In den Bahnhöfen werden von der RZü die Ankunfts-Ist-Zeiten am Einfahrtsignal und die Abfahrts-Ist-Zeiten am Ausfahrtsignal erfaßt. Die Soll-Zeiten beziehen sich jedoch bei haltenden Zügen auf die Ankunft und Abfahrt am Bahnsteig. Damit muß die Fahrzeit vom Einfahrtsignal zum Halteplatz und die Fahrzeit vom Halteplatz zum Ausfahrtsignal mit berücksichtigt werden. Bei der RZü wird dies durch Interpolationszeiten erreicht. Hierbei wird aus der Fahrzeit zwischen den Betriebsstellen und deren Entfernung eine Geschwindigkeit ermittelt, aus der wiederum die Fahrzeit zwischen den Signalen und den Fahrzeitrechenpunkten berechnet wird. Haltende Züge werden durch Brems- und Beschleunigungszuschläge berücksichtigt. Dieses Verfahren stellt jedoch nur eine Näherung dar und kann in folgenden Fällen zu deutlichen Abweichungen führen:

- Bei der Berechnung der Interpolationszeiten wird eine konstante Geschwindigkeit über den gesamten Streckenabschnitt vorausgesetzt. Ist dies nicht

der Fall und ist außerdem der Signalstandort und der Halteplatz weit voneinander entfernt, so können Fehler von bis zu 20 Sekunden auftreten.

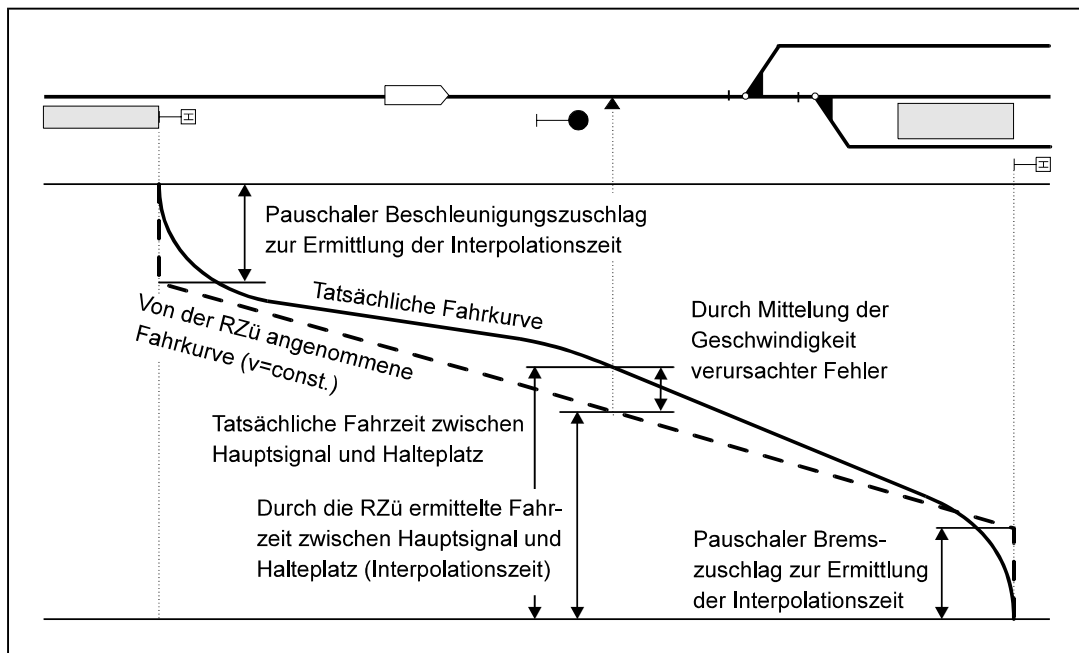


Abb. 4.1: Durch die Mittelung der Geschwindigkeiten verursachter Fehler bei der Berechnung der Interpolationszeiten

- Eine weitere Fehlerquelle ist, daß als Halteplatz der Züge die Mitte des Empfangsgebäudes angesetzt wird, da dieser Wert problemlos ermittelt werden kann. In vielen Bahnhöfen jedoch befindet sich das Empfangsgebäude am Ende des Bahnsteigs (z.B. Rödelheim und Niederhöhnstadt). Damit ergeben sich beim Vollzug Längenabweichungen von bis zu 150 m.

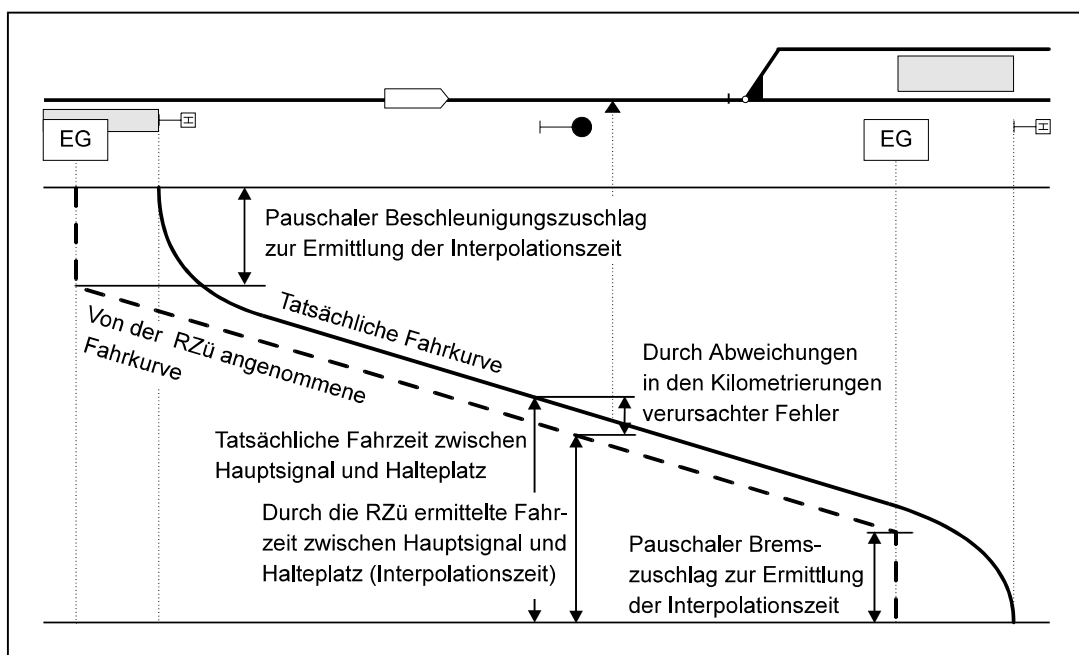


Abb. 4.2: Durch Abweichungen in den Kilometrierungen verursachter Fehler bei der Berechnung der Interpolationszeiten

- Der Abstand der Zugeinwirkstelle vom Signal wird bei der Berechnung der Interpolationszeiten vernachlässigt, kann aber bis zu 600 m betragen.
- An einigen Betriebsstellen wurden überhaupt keine Interpolationszeiten berechnet. Damit ergeben sich Zeitdifferenzen, die der Fahrzeit des Zuges von der Zugeinwirkstelle bis zum Halteplatz entsprechen.
- Weitere Ungenauigkeiten ergaben sich durch Eingabefehler in den Soll-Fahrplanzeiten. An einigen Betriebsstellen wie Selbstblocksignalen und Abzweigstellen war die Fahrplanzeit nicht korrekt eingegeben.

Diese Abweichungen sind in der täglichen Praxis der Betriebsleitung nicht von Belang, in betriebswissenschaftlichen Untersuchungen jedoch können sie nicht hingegenommen werden. Hinzu kommt, daß im S-Bahn-Verkehr kleinere Verspätungen auftreten als im sonstigen Personenverkehr, so daß sich Fehler stärker bemerkbar machen.

Eine Möglichkeit zur Eliminierung der Fehler wäre, die mittleren Ankunfts- und Abfahrtsverspätungen an den Betriebsstellen einer Strecke zu ermitteln und grafisch aufzutragen. Im Streckenverlauf betrachtet, müssen diese eine gleichmäßige Linie bilden. Alle Betriebsstellen, an denen Abweichungen von dieser Linie auftreten, müßten dann von der Auswertung ausgeschlossen und gelöscht werden. Dieses Verfahren konnte jedoch nicht angewendet werden, da die untersuchten Strecken nicht genug Betriebsstellen aufwiesen, um anhand des Verspätungsdiagramms die zu löschenden Betriebsstellen eindeutig auszuwählen. Außerdem sollen auch Untersuchungen möglich sein, die sich nur auf wenige Bahnhöfen beschränken, so z.B. die Ermittlung der Wendezeit.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein anderer Weg gewählt. Durch Fahrzeitberechnungen wurden eigene Interpolationszeiten ermittelt und damit die Verspätungszeiten korrigiert.

4.7.2 Ermittlung der Grundlegendaten

Für die Ermittlung der Korrekturwerte wurden die Fahrzeiten jeweils für die Strecke zwischen Einfahrsignal und Halteplatz sowie zwischen Halteplatz und Ausfahrsignal berechnet.

Signalstandorte und zulässige Geschwindigkeiten

Die dazu erforderlichen Signalstandorte und zulässigen Geschwindigkeiten konnten den entsprechenden signaltechnischen Streckenbändern entnommen werden. Bei Bahnhöfen mit Zwischensignalen (z.B. Rödelheim und Ffm West) wurde das jeweils maßgebende Signal anhand vorliegender Unterlagen der RZü bestimmt.

Halteplätze

In den Streckenbändern sind zwar die Bahnsteige, nicht jedoch die Halteplätze verzeichnet, so daß deren Lage abgeschätzt werden mußte. Dafür wurden die Kilometrierungen der Bahnsteigzugänge, der Bahnsteigenden und der Signalstandorte aus den Streckenbändern ermittelt. Die Festlegung der Halteplätze erfolgte dann unter der Annahme, daß der haltende Zug bei mehreren Zugängen möglichst gleichmäßig, bei nur einem Zugang möglichst günstig zu errei-

chen ist. Dabei waren die Bahnsteigenden bzw. die Signalstandorte die begrenzenden Faktoren. Eine Überprüfung anhand einiger Betriebsstellen zeigte eine gute Übereinstimmung mit den abgeschätzten Werten, so daß auf eine Vollerhebung aller Halteplätze verzichtet werden konnte.

Lage der Zugeinwirkstelle für den Signalhaltfall

In die Ermittlung der Fahrzeit zwischen Signal und Halteplatz mußte auch die Zeitdifferenz zwischen der Zugvorbeifahrt am Signal und dem Signalhaltfall eingehen. Diese ist auch von der Bauart des Stellwerks, vor allen Dingen aber von der Lage der Zugeinwirkstelle für den Signalhaltfall abhängig. Problematisch hierbei ist, daß keine in sich geschlossenen Planunterlagen existieren, die die maßgebenden Zugeinwirkstellen enthalten. Eine Vollerhebung dieser Daten wäre daher sehr zeit- und arbeitsaufwendig gewesen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein anderer Weg gewählt:

- Zunächst wurden mit einem geschätzten Wert von 250 m für die Entfernung der Zugeinwirkstelle vom Signal die Korrekturwerte berechnet, die Korrektur der RZü-Daten durchgeführt und die Ergebnisse dann anhand der graphischen Darstellung der mittleren Verspätung über die Strecke kontrolliert.
- Traten dann an einzelnen Signalen Abweichungen auf, die auf eine andere Lage der Zugeinwirkstelle schließen ließen, wurde dort eine exakte Erhebung durch eine Zeitmessung vor Ort durchgeführt. Damit konnte zugleich auch die Geschwindigkeit der Züge ermittelt werden. Stimmt diese in etwa mit der vorher errechneten Sollgeschwindigkeit überein, waren ein oder zwei Messungen ausreichend. Bei abweichenden Werten wurden dann weitere Messungen durchgeführt. Wo eine örtliche Zeitmessung nicht möglich war, z.B. im Bahnhofsvorfeld großer Bahnhöfe oder in Tunneln, wurde die genaue Lage der Zugeinwirkstelle aus speziellen Unterlagen der DB ermittelt.
- Um für den im ersten Arbeitsschritt geschätzten Wert von 250 m für die Entfernung der Zugeinwirkstelle vom Signal einen realistischeren Wert auf einer breiten Datenbasis zu gewinnen, wurden örtlich benachbarte Signale in die Messungen mit einbezogen. Es zeigte sich, daß die Entfernungen vom Signal zur Einwirkstelle sehr unterschiedlich sind. Während der Abstand von Einfahrsignalen zur Einwirkstelle breit gestreut ist, weist der Wert von Ausfahrtsignalen bei 200 m ein eindeutiges Maximum auf. Als Mittelwert berechnet sich bei Einfahrsignalen 380 m, bei Ausfahrtsignalen 240 m.

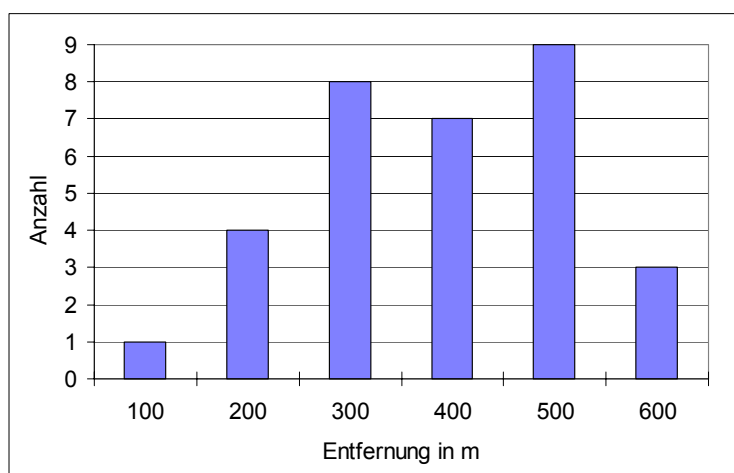


Abb. 4.3: Entfernung der Zugeinwirkstelle für den Signalhaltfall bei Einfahrsignalen (eigene Messungen)

- Als letzter Arbeitsschritt wurden mit diesen Mittelwerten oder mit den am jeweiligen Signal ermittelten Werten nochmals die Korrekturwerte berechnet, die Korrektur der RZü-Daten durchgeführt und die Ergebnisse dann anhand der graphischen Darstellung der mittleren Verspätung über die Strecke kontrolliert.

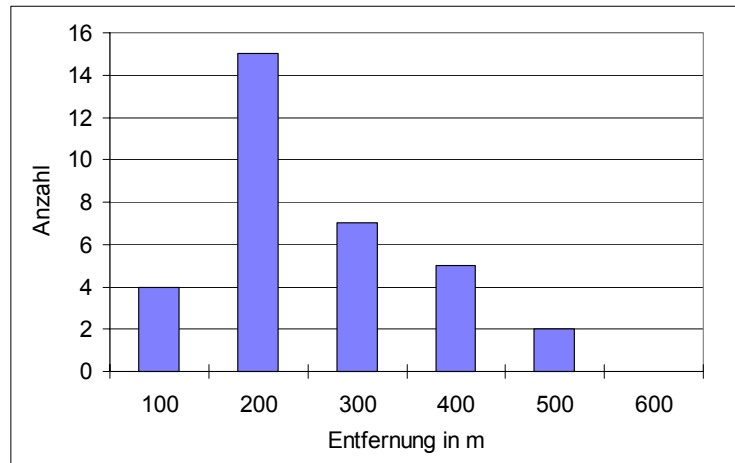


Abb. 4.4: Entfernung der Zugeinwirkstelle für den Signalhaltfall bei Ausfahrtsignalen (eigene Messungen)

Im Innenstadttunnel von Frankfurt ist ein HV-Signalsystem installiert, das mit Geschwindigkeitsprüfab schnitten arbeitet und somit reduzierte Durchrutschwege zuläßt. In diesem Bereich befinden sich die Zugeinwirkstellen bereits 10 m hinter dem Signal.

Programmtechnisch wurde der Abstand zwischen Signal und Zugeinwirkstelle berücksichtigt, indem die Signale um diesen fiktiven Wert in Fahrtrichtung verschoben wurden. Die Zeitdifferenz zwischen dem Signalhaltfall und der Meldung an die RZü beträgt nach Auskunft des zuständigen Mitarbeiters der DB etwa 2 Sekunden und wurde entsprechend berücksichtigt.

Interpolationszeiten

Die von der DB benutzten Interpolationszeiten wurden den Originaldatensätzen entnommen und in die Berechnung der Korrekturwerte einbezogen.

Fahrplankorrekturwerte

Aufgrund von Fehleingaben bzw. nicht nachgetragenen kurzfristigen Änderungen der Fahrpläne traten in den RZü-Sollzeiten Abweichungen von den gültigen Fahrplänen auf, die sich auch auf die Verspätungsdaten auswirkten. Diese wurden ebenfalls bei der Berechnung der Korrekturwerte berücksichtigt.

4.7.3. Berechnung der Korrekturwerte

Anschließend wurden die Fahrzeiten von der Signalzugschlußstelle des Einfahrsignals bis zum Halteplatz bzw. vom Halteplatz zur Signalzugschlußstelle des Ausfahrtsignals berechnet. Die Korrekturwerte wurden ermittelt, indem zu den Fahrzeiten eventuelle Fahrplankorrekturwerte addiert und die RZü-Interpolationszeiten subtrahiert wurden. Folgende Betriebsstellentypen wurden unterschieden:

Kennbuchstabe	Beschreibung	vorhandene Zeiten	Beispiele
H	Bahnhof mit Halt	an \neq ab	Eschborn
D	Bahnhof ohne Halt	an \neq ab	Ffm-Ginnheim
D	Abzweigstelle mit 2 Signalen	an \neq ab	Abzw. Kostheim
A	Haltepunkt mit dahinterliegendem Blocksignal	an = 0, ab \neq 0	Ffm-Sindlingen
E	Haltepunkt mit davorliegendem Blocksignal	an \neq 0, ab = 0	Bruchenbrücken
B	Blockstelle	an = ab	732/1
B	Abzweigstelle mit 1 Signal	an = ab	Abzw. Kleyerstraße

Tab. 4.3: Vorhandene Betriebsstellentypen im Korrekturprogramm

Es ergaben sich Korrekturwerte zwischen -123 und 76 Sekunden mit einem Mittelwert der absoluten Zahlen von 12 Sekunden.

4.7.4 Ablauf und Ergebnisse der Datenkorrektur

Die Korrektur der RZü-Daten erfolgte in einem separaten, vom Autor entwickelten Programm und wurde für die S-Bahn-Linien S1 bis S6 und S14 durchgeführt. Am Beispiel der Linie S4 mit Fahrtrichtung Norden (Ffm Süd - Kronberg) sind in den beiden folgenden Grafiken die mittlere Verspätungsentwicklung über die Strecke dargestellt, einmal vor und einmal nach der Korrektur. Diese Linie eignet sich besonders, da hier nahezu alle Ungenauigkeiten bzw. Fehler, die das Korrekturprogramm beheben kann, auftreten.

Vor der Korrektur ist ein sehr uneinheitlicher Verspätungsverlauf festzustellen.

Einige Betriebsstellen fallen dabei besonders auf:

- Die meisten Stationen der Tunnelstrecke (Ffm Lokalbahnnhof, Ffm Ostendstraße, Ffm Taunusanlage) weisen eine negative Ankunftsverspätung, aber eine große Abfahrtsverspätung auf. Für diese Stationen waren die Interpolationszeiten nicht berechnet.
- Besonders klein ist die Abfahrtsverspätung an der Betriebsstelle Ffm Konstablerwache. Hier ist eine Abweichung in den Soll-Daten von genau einer Minute der Grund.
- Die geringen Werte an der Station Ffm Galluswarte sind durch die hier eingesetzte ältere Zugnummernmeldeanlage ZN 60 anstatt der sonst üblichen Anlage ZN 800 bedingt.
- An den Betriebsstellen Eschborn Süd und Werk Braun sind keine Signale vorhanden, die Daten für die RZü liefern könnten. Daher waren hier beliebige Durchschnittswerte eingegeben, die der Realität nicht entsprachen.

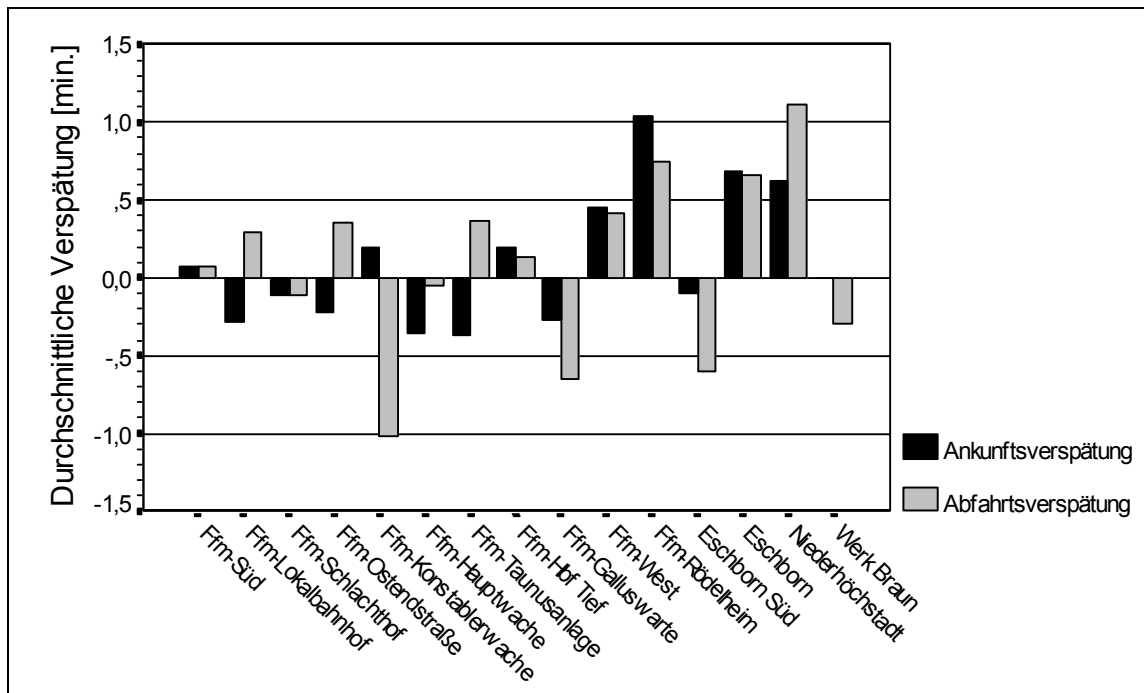


Abb. 4.5: Mittlere Verspätungsentwicklung auf der S-Bahn-Linie 4 Richtung Norden vor der Korrektur

Nach dem Löschen einzelner Betriebsstellen und der Korrekturberechnung ergibt sich nachfolgendes Bild der mittleren Verspätungsentwicklung mit einem sehr gleichmäßigen Verlauf.

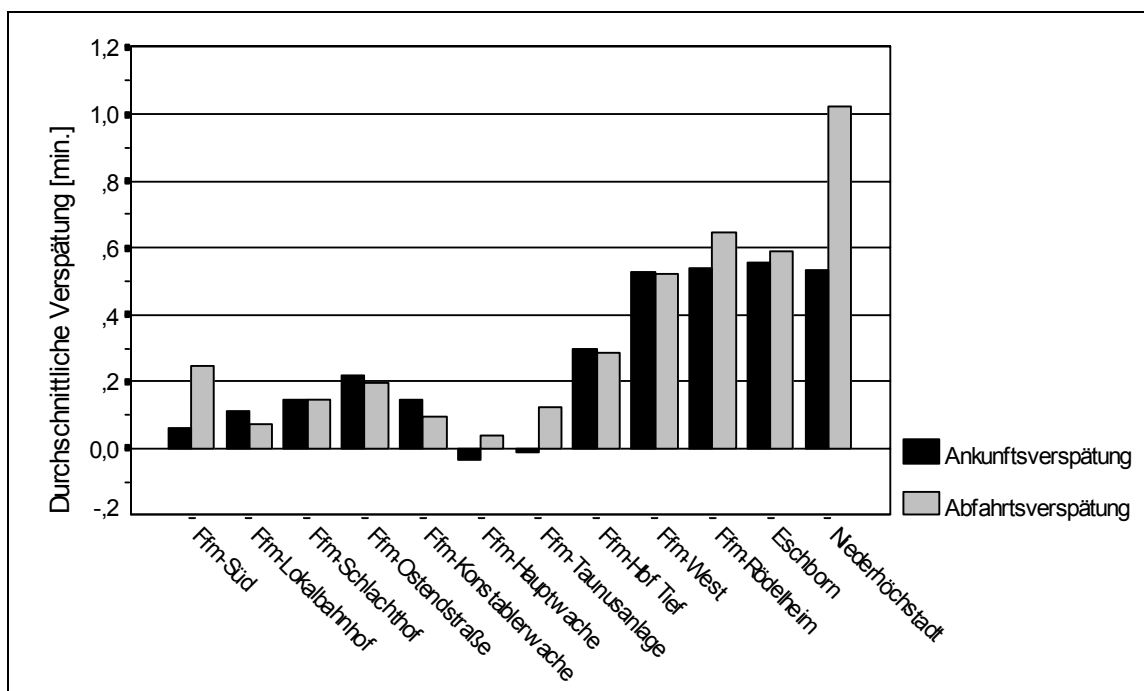


Abb. 4.6: Mittlere Verspätungsentwicklung auf der S-Bahn-Linie 4 Richtung Norden nach der Korrektur

4.7.5 Genauigkeit der Datenkorrektur

Für anschließende Plausibilitätsprüfungen des Datenmaterials ist es wichtig, dessen Genauigkeit zu kennen. An mehreren Stellen sind unvermeidbare Fehlerquellen vorhanden:

Rundung der Fahrplan-Sollzeiten

Sämtliche Fahrplan-Sollzeiten werden auf Zehntelminuten gerundet eingegeben, die Ist-Zeiten hingegen werden sekundengenau von der RZü ermittelt. Im ungünstigsten Fall kann damit zwischen zwei Betriebsstellen eine Abweichung von 6 Sekunden auftreten.

Beschleunigen und Bremsen

Die Fahrzeit zwischen RZü-Meldepunkt und Halteplatz wird mit einer Fahrzeitrechnung ermittelt, in die die Geschwindigkeit sowie die Anfahr- bzw. Bremsbeschleunigung eingeht. Diese sind jedoch nicht konstant, sondern von der Zuglast und auch von der Fahrweise des Triebfahrzeug-Führers abhängig, die sich einer genaueren Erfassung entziehen. Somit muß mit Mittelwerten gerechnet werden, die notwendigerweise eine Streuung aufweisen. Die durchgeführten Messungen ergaben je nach Ausgangsgeschwindigkeit Abweichungen bei den Fahrzeiten von bis zu 5 Sekunden.

Variierende Zugkonfigurationen

Die Fahrzeitrechnung wird grundsätzlich mit der längsten Zugkonfiguration durchgeführt, um den Fahrplan einhalten zu können. Bei der S-Bahn ist dies der Langzug. Da für den Zeitpunkt der Meldung an die RZü das Überfahren der Zugeinwirkstelle durch die erste Achse des Zuges maßgebend ist, hat die Länge der Züge im allgemeinen keinen Einfluß auf die Fahr- und Haltezeiten. Falls sich jedoch die Halteplätze an unterschiedlicher Stelle befinden, so

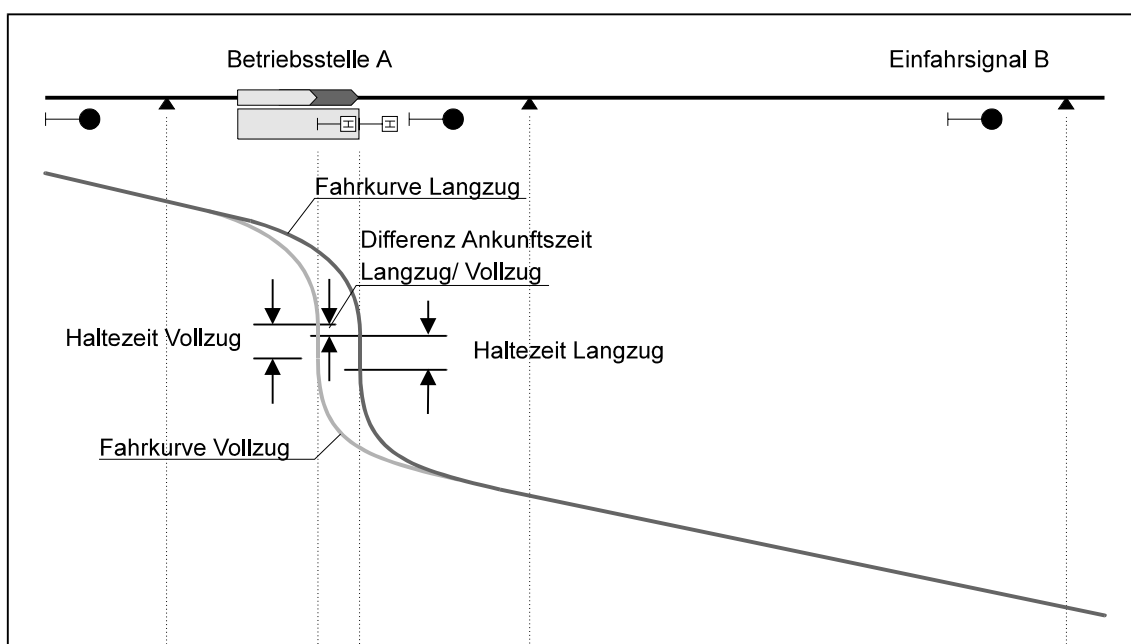


Abb. 4.7: Auswirkungen unterschiedlicher Zugkonfigurationen auf die Ankunfts- und Abfahrtszeit.

kommt der kürzere Zug früher zum Halten als der längere. Dadurch ergeben sich Differenzen in der Ankunfts- und Abfahrtszeit, nicht jedoch in der Haltezeit oder der Fahrzeit.

Fahrplanzeiten

Weitere Ungenauigkeiten zeigten sich bei den Strecken Ffm West - Friedberg und Flughafen - Wiesbaden. Die Abfahrtszeiten sind auf diesen Strecken sehr unregelmäßig und wurden daher nur minutengenau eingegeben. Damit ergeben sich aber Verspätungen, die um bis zu 0,9 Minuten über den tatsächlichen Verspätungen liegen können. Die Ermittlung der tatsächlichen Ankunfts- und Abfahrtszeiten mit einer Genauigkeit von einer Zehntelminute anhand des Fahrplanschemas war nicht möglich, da insbesondere in den Hauptverkehrszeiten die meisten Zugfahrten nicht dem Fahrplanschema entsprachen.

4.8 Überprüfung der Datenkorrektur

Vorgehensweise

Um die Richtigkeit der korrigierten Verspätungsdaten abzusichern, wurden diese einer weiteren Plausibilitätskontrolle unterzogen. Diese geschah auf zwei Wegen:

- Kontrolle anhand mittlerer Verspätungen über den Streckenverlauf.
- Kontrolle der Haltezeiten an den Betriebsstellen.

Sofern bei einer dieser Überprüfungen eine Unstimmigkeit auftrat, wurde die Datenkorrektur mit verbesserten Eingangswerten wiederholt. Ergaben sich auch danach noch unplausible Ergebnisse, so konnte die betreffende Betriebsstelle nicht weiter ausgewertet werden.

Kontrolle anhand mittlerer Verspätungen über den Streckenverlauf

Bei dieser Kontrolle wurde die mittlere Verspätungsentwicklung über den Streckenverlauf als Ganglinie aufgetragen. Im Verlauf einer Strecke müssen die durchschnittlichen Verspätungen aller Züge über einen längeren Zeitraum hinweg betrachtet eine homogene Linie ergeben. Es ist nicht möglich, daß alle Züge in einem Streckenabschnitt eine Fahrzeitverlängerung erfahren, diese aber im nächsten Abschnitt wieder kürzen. Wo dies auftritt, muß ein Fehler in den Eingabedaten vorliegen. Es ist allerdings zu beachten, daß an Betriebsstellen mit Haltezeitzuschlägen überproportionale Kürzungen möglich sind bzw. an Betriebsstellen mit planmäßigen Kreuzungen überproportionale Haltezeitverlängerungen auftreten können. Diese Fälle können aber anhand des Fahrplans aufgezeigt werden.

Kontrolle der Haltezeiten an den Betriebsstellen

Die Haltezeitenverteilung an den Betriebsstellen darf keine zu geringen Werte enthalten. Die nebenstehende Grafik zeigt diesen Sachverhalt. Ergeben sich aufgrund von Datenfehlern hingegen zu lange Haltezeiten, wird dies jedoch möglicherweise nicht bemerkt.

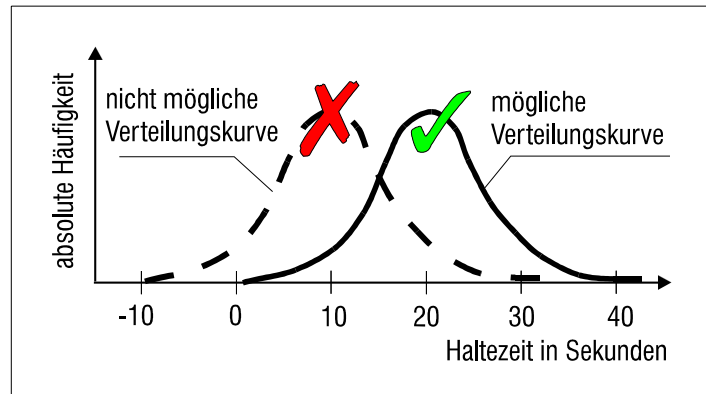


Abb. 4.8: Mögliche und nicht mögliche Haltezeitverteilung

4.9 Löschen von Zugfahrten mit Datenfehlern

Durch Fehleingaben der Fahrdienstleiter oder durch Übertragungsfehler sind Fehler im Datenmaterial nie völlig auszuschließen. Im Programmschritt "Umspeichern der Daten" sind bereits die Züge mit Verspätungen von mehr als 60 Minuten und Verfrühungen von mehr als 10 Minuten gelöscht worden. Nach der Korrektur liegen die Daten nun in verbesserter Form vor und es können schärfere Grenzwerte eingeführt werden, die das Löschen von fehlerhaften Daten begründen. Haltezeiten, Fahrzeitkürzungen und Abfahrtsverspätungen dürfen bestimmte Werte nicht unter- bzw. überschreiten. Die einzelnen Kriterien sind im folgenden beschrieben:

Zu geringe Haltezeiten

Im S-Bahn-Netz Rhein-Main wird an allen Stationen gehalten, es gibt keine Bedarfshaltestellen. Auch ohne Fahrgastwechsel, was im Spätverkehr durchaus vorkommt, ist eine gewisse Mindesthaltezeit erforderlich, die nicht unterschritten werden kann. Ergibt sich aus den RZü-Daten eine zu geringe Haltezeit, so liegt ein Fehler vor, dessen Ursache in der Datenerfassung oder in der Datenkorrektur liegen kann: Während ein Fehler aus der Datenkorrektur die gesamte Haltezeitverteilung etwas verschiebt, äußern sich Fehler aus der Datenerfassung nur in einzelnen Werten, die zudem große Beträge annehmen können.

Um die Mindesthaltezeit zu bestimmen, wurden im Spätverkehr bei stark verspäteten Zügen Messungen durchgeführt, die Haltezeiten von ca. 10 Sekunden ergaben. Unter der Annahme, daß die Triebfahrzeug-Führer im Verspätungsfalle besonders scharf bremsen und anfahren und somit im Haltestellenbereich insgesamt 15 Sekunden weniger Fahrzeit benötigen, ist eine aus den RZü-Daten entnommene Haltezeit von -5 Sekunden noch plausibel. Entsprechend werden nach der Datenkontrolle alle Zugfahrten, die geringere Haltezeiten als -5 Sekunden aufweisen, gelöscht.

Zu lange Haltezeiten

Im Gegensatz zum unteren Grenzwert der Haltezeiten kann der obere Grenzwert nicht durch logische Schlußfolgerungen ermittelt werden, da durch verschiedene Vorkommnisse größere Haltezeiten auftreten können. Um eine Obergrenze für die Haltezeiten festzulegen, bietet sich die Darstellung der Ankunfts- und Abfahrtsverspätung an einer oder an mehreren Betriebsstellen als Punktwolke an. Darin werden für alle Zugfahrten die Abfahrtsverspätung auf der Ordinate und die Ankunftsverspätung auf der Abszisse aufgetragen. Beispielhaft ist nachstehend die Ankunfts- und Abfahrtsverspätung der S-Bahn-Linie 4 in Niederhöhnstadt, Fahrtrichtung Norden, graphisch dargestellt. Sind Abfahrts- und Ankunftsverspätung gleich, so weist der Zug exakt die fahrplanmäßige Haltezeit auf. Liegt die Koordinate rechts unterhalb dieser Linie, so unterschreitet er diese. Wie oben bereits beschrieben, ist dies nur bis zu einer bestimmten, relativ exakt definierten Grenze möglich. Diese ist im Diagramm am geraden Abschluß der Punktwolke auch deutlich zu erkennen. Liegt die Koordinate links oberhalb der Winkelhalbierenden, so wird die planmäßige Haltezeit überschritten. Im Vergleich zur Haltezeitunterschreitung ist dies häufiger der Fall. Bei Abfahrtsverspätungen zwischen 3 und 5 Minuten ist eine Zweiteilung der Punktwolke zu erkennen. Diese erstreckt sich sowohl in Rich-

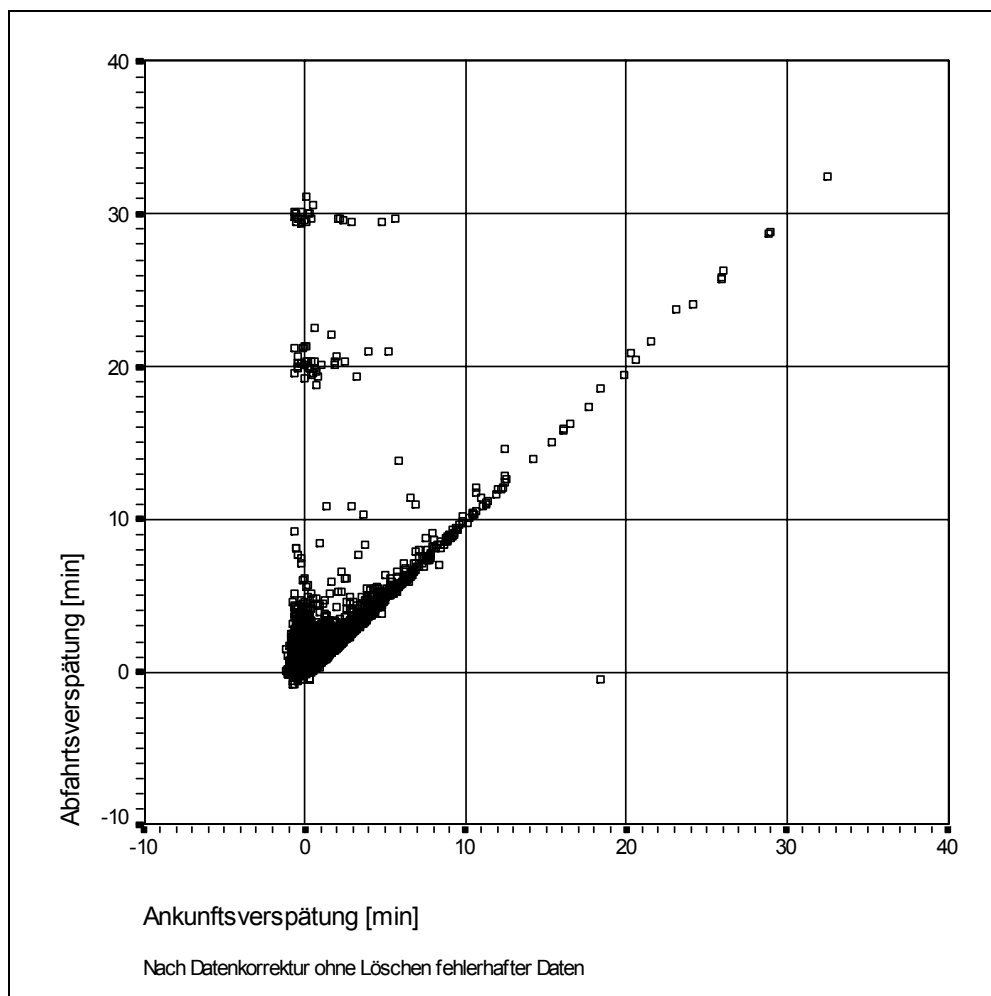


Abb. 4.9: Ankunfts- und Abfahrtsverspätung der Linie 4 in Niederhöhnstadt, Fahrtrichtung Norden

tung der Winkelhalbierenden als auch in vertikaler Richtung. Diese Zweiteilung resultiert aus der Tatsache, daß in Niederhöchststadt in der Hauptverkehrszeit Zugkreuzungen ohne Pufferzeit stattfinden. Der nach Kronberg fahrende Zug muß jeweils die Ankunft des aus dem eingleisigen Streckenabschnitt kommenden Gegenzugs im Bahnhof abwarten, so daß sich bereits bei geringen Verspätungen längere Haltezeiten ergeben. Auffallend sind weiterhin 2 Punktwolken, die sich im Bereich von Abfahrtsverspätungen von 20 bzw. 30 Minuten befinden. Eine solche Ansammlung von relativ hohen Werten ist extrem unwahrscheinlich und läßt auf einen Fehler in der Zugnummernerkennung schließen, da dies die Taktzeiten sind. Diese Punktwolken wurden daher im Rahmen der Datenüberprüfung gelöscht, indem als oberer Grenzwert der Haltezeit 15 Minuten angesetzt wurden.

Übermäßige Fahrzeitkürzung

Zwischen zwei Betriebsstellen ist die Fahrzeitkürzung nur in begrenztem Rahmen möglich. Bei übermäßiger Fahrzeitkürzung muß daher von einem Datenfehler ausgegangen werden. Eine gewisse Schwierigkeit besteht allerdings darin, den plausiblen Grenzwert der möglichen Fahrzeitkürzung festzulegen. Im planmäßigen Betrieb können relativ große Fahrzeitkürzungen vorkommen, wofür es mehrere Gründe geben kann:

- Eine Betriebsstelle wird nicht ständig bedient, so daß außerhalb dieser Zeiten durchgefahren wird. Die Fahrzeiten werden auf der Grundlage der haltenden Züge berechnet, so daß durchfahrende Züge starke Fahrzeitkürzungen aufweisen. Dies betraf nur den Haltepunkt Werk Braun an der S4, wo Fahrzeitkürzungen bis zu etwa 30 % (1,4 Minuten) auftraten.
- In größeren Bahnhöfen existieren mehrere Fahrstraßen, die von S-Bahnen abwechselnd benutzt werden und unterschiedliche Fahrzeiten aufweisen. Dann ist immer die längere Fahrzeit in den Fahrplan eingearbeitet. Obwohl im S-Bahn-Verkehr offiziell keine Sonderzuschläge existieren, könnte dies ein weiterer Grund für die zu lange Fahrzeit sein. Dies traf zum Beispiel für die Fahrt von Wiesbaden Ost nach Wiesbaden zu, wo die durchschnittliche Fahrzeitkürzung bei -27 % (1,3 Minuten) lag und die Verteilungskurve etwa bis -55 % (2,6 Minuten) reichte. Gleiches galt für die Relation Bruchengraben - Friedberg.
- Bei sehr kurzen Fahrzeiten, wie sie zum Beispiel im Innenstadttunnel vorkommen, können durch Rundung scheinbar starke prozentuale Fahrzeitkürzungen auftreten. Bei einer Fahrzeit von einer Minute bewirkt ein Rundungsfehler von 0,1 Minuten eine Abweichung von 10 %.
- Da die Abfertigung eines Zuges zwischen 0,1 und 0,2 Minuten benötigt, werden Abfahrtszeiten zum Zeigersprung oder zur Minute 0,1 nach Möglichkeit vermieden, da ansonsten kein Zug pünktlich abfahren könnte. Ergibt sich eine solche Abfahrtszeit, wird diese in die vorige Minute auf 0,9 geschoben. Damit wird die in den Fahrplan aufgenommene Fahrzeit im folgenden Streckenabschnitt 0,1 bis 0,2 Minuten größer als die tatsächlich erforderliche und die Haltezeit oder die Fahrzeit im vorigen Streckenabschnitt wird entsprechend kürzer. Auf dem dann folgenden Streckenabschnitt ist somit eine starke Fahrzeitkürzung möglich.

Alle Zugfahrten, die aus den obenstehenden Gründen eine starke Fahrzeitkürzung aufwiesen, durften in diesem Arbeitsschritt nicht gelöscht werden. Maßgebend für den unteren Grenzwert wurde damit die Fahrzeitkürzung vor den Endbahnhöfen Wiesbaden und Friedberg von etwa -55 % (2,6 Minuten). War die Fahrzeitkürzung größer als -60 %, wurde die Zugfahrt gelöscht. Damit wurden die Punktwolken, die sich in nachstehender Grafik zwischen 2 und 10 sowie zwischen 20 und 35 Minuten Abfahrtsverspätung befinden und offensichtlich systematische Fehler sind, sicher erfasst.

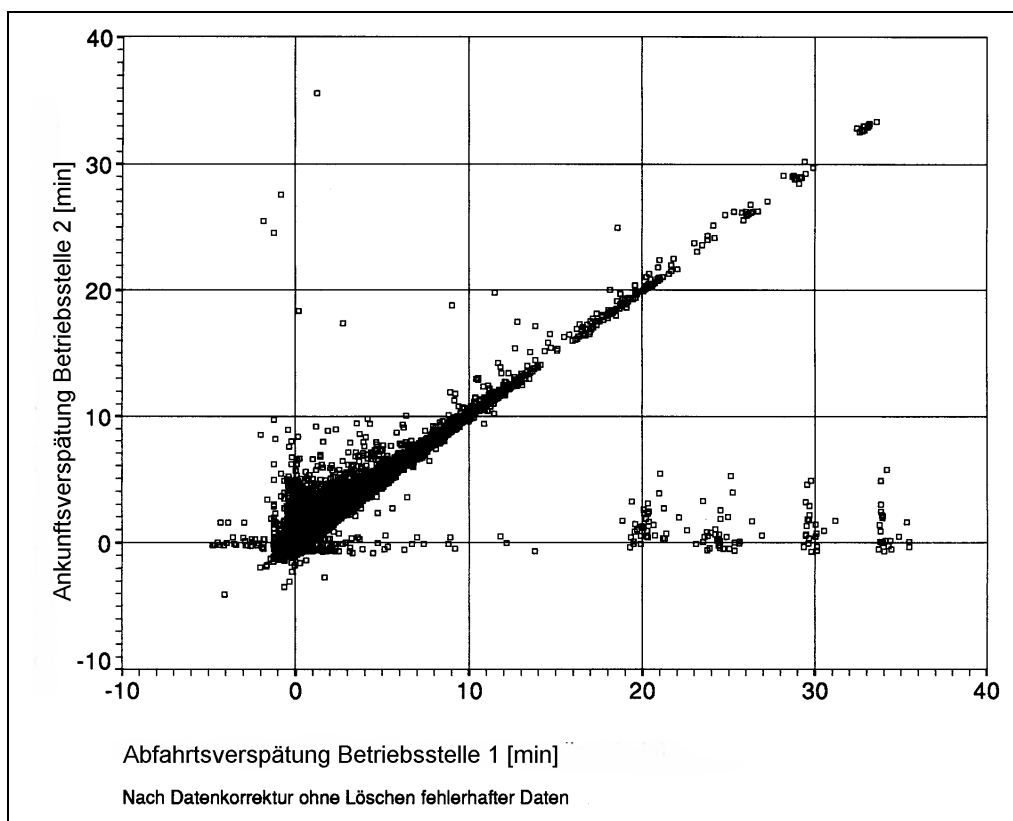


Abb. 4.10: Verspätungen auf den Streckenabschnitten der S-Bahn-Linie 4, Fahrtrichtung Norden

Zu lange Fahrzeiten

Wie die obenstehende Grafik zeigt, ist die Festlegung eines oberen Grenzwertes für die Fahrzeit nicht so entscheidend, da erstens kaum Fahrzeitverlängerungen über 10 Minuten auftraten (in der abgebildeten Grafik 0,05 %) und zweitens auch keine systematischen Fehler zu erkennen waren. Alle vorhandenen Punkte liegen im Bereich des möglichen. Fahrzeitverlängerungen von bis zu 40 Minuten können z.B. durch einen Totalausfall des Triebfahrzeugs auf der freien Strecke verursacht sein. Als Grenzwert wurde daher eine Fahrzeitverlängerung von 60 Minuten gewählt.

Abfahrten vor Plan

Abfahrten vor Plan sind im S-Bahn-Verkehr nur bis herab zum Zeigersprung üblich. Dies bedeutet, daß bei Abfahrten auf die Minute 0,9 die Abfahrt genau zur Minute 0,0 erfolgen könnte. Dafür ist allerdings eine optimale Abfertigung des Zuges durch den Triebfahrzeugführer erforderlich, der den Abfertigungsvorgang noch vor dem Zeigersprung einleiten muß. Grundbedingung dazu ist eine guter Überblick über den Bahnsteig, um auszuschließen, daß noch Fahrgäste kommen. Durch scharfes Beschleunigen (bei geringer Verkehrslast) und schnelleres Erreichen der Zugeinwirkstelle durch variierende Zugkonfigurationen (siehe dazu Abb. 4.7) können weitere Abweichungen auftreten. Insgesamt sind so Abfahrten vor Plan bis zu etwa -1,5 Minuten denkbar. In obenstehender Grafik endet die große Punktwolke genau bei -1,3 Minuten. Links davon beginnt bei -1,8 Minuten eine weitere, wesentlich kleinere Punktwolke, die offensichtlich aus Datenfehlern resultiert. Als unterer Grenzwert der Abfahrtsverspätung wurden daher -1,7 Minuten angesetzt.

Die Grenzwerte im Überblick

Zusammenfassend sind in nebenstehender Tabelle die einzelnen Grenzwerte nochmals dargestellt:

Merkmal	unterer Grenzwert	oberer Grenzwert
Haltezeiten	- 5 Sekunden	15 Minuten
Fahrzeiten	- 60 %	60 Minuten
Abfahrtsverspätung	-1,7 Minuten	-

Tab. 4.4: Kriterien für das Löschen von Datensätzen